



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



Thèse pour l'Obtention du

DIPLÔME DE DOCTORAT

en Troisième cycle

Présentée par : M^{elle} **REBATI Nadia**

Domaine : "Sciences de la Nature et de la Vie"

Filière : "Biologie"

Spécialité : "Écologie et Préservation des Écosystèmes Terrestres"

Impact des facteurs climatiques et géographiques sur la biodiversité microbienne des sols du sous bassin versant de Oued K'sob

Devant le jury :

Président de jury	: Pr. HASSANI A.	Professeur. Univ. Tiaret
Directrice de Thèse	: Dr. BOUCHENAF N.	MCA. Univ. Tiaret
Co-encadreur	: Dr. OULBACHIR K.	MCA. Univ. Tiaret
Examineurs		
	: Pr. SARRI M.	Professeur. Univ. M'sila
	: Dr. BOUDIAF M.	MCA. Univ. Tizi Ouzou
	: Dr. KOUADRIA M.	MCA. Univ. Tiaret

Année universitaire : 2018–2019

DÉDICACE

Je dédie ce travail à mes ;

Chers parents

Chères frères et sœurs,

Mes belles sœurs,

Chères neveux et nièces,

Chers professeurs,

Chers amis.

Remerciements

Je remercie tout d'abord le bon Dieu qui m'a donné le courage et la patience pour terminer ce travail, sans oublier, toutefois, de remercier mes chers parents qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs Fatima Zohra et Soriya, et mes frères surtout Mohamed El Amine, je le remercie pour ça patience et ça disponibilité. Sans oublier mes neveux.

Le plaisir de présenter mes résultats ne me fera pas oublier d'exprimer ici mes sincères remerciements aux personnes qui ont contribué efficacement à la réalisation de ce travail :

Ma directrice de thèse Madame BOUCHNAFA Nadia, MCA à l'université de Tiaret, qui m'a encadré dans ce travail. Sachez combien, je vous suis reconnaissante pour la confiance que vous m'avez accordée. Merci pour la bonne humeur que vous avez manifesté tout au long de ce travail.

Je voudrais adresser toute ma gratitude à ma co-directrice de thèse, Madame OULBACHI K, MCA à l'université de Tiaret, pour sa patience et sa disponibilité.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance à Monsieur HASSANI A, Professeur à l'université de Tiaret, pour l'intérêt qu'il porte à ce travail et pour sa disponibilité à présider le jury.

Je tiens à exprimer ma gratitude à l'égard de Monsieur SARRI M, professeur à l'université de M'sila, d'avoir accepté de participer au jury et d'avoir apporté son attention à la lecture de cette thèse.

Mes vifs remerciements à Monsieur KOUADRIA M, MCA à l'université de Tiaret, pour l'acceptation d'examiner mon travail.

Mes remerciements vont également à Madame BOUDIAF M, MCA à l'université de Tizi Ouzou pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches particulièrement : Monsieur BOUREZGUE Saïd, Monsieur HANDEL N, Monsieur MERNIZ N, TIAIBA des enseignants à l'université de M'sila, Monsieur DELLAL A, BEN AICHATA L, Madame MOULAY, Madame AIT ABDERRHIM à l'université de Tiaret, Madame

ZEROUKI enseignante à l'INA ; Monsieur KARABI M et OUSTANI des enseignants à l'université d'Ouargla.

Je tiens à remercier spécialement Dr. BELOUADAH Z enseignant à l'école nationale polytechnique d'Alger qu'il a grandement facilité mon travail.

Mes sincères remerciements vont également à toute l'équipe du service du laboratoire de département du SNV surtout Samira et Saida, laboratoire LUTMA université de Tiaret et du laboratoire de l'agronomie de l'université de M'sila pour leur précieuse aide et collaboration.

Je désire aussi remercier l'équipe de laboratoire Doumi M'sila, qui m'a fourni les outils nécessaires à la réussite de mes expériences.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche surtout : Habiba, Wissam, Kaouthar, Samira, Fatima, Dyhia, Khadidja, Razika, Saliha, Hicham et Nouredine.

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

Table des matières

Thème : Impact des facteurs climatiques et géographiques sur la biodiversité microbienne des sols du sous bassin versant de Oued K'sob

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

1

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralité sur le sol

1.1 Le sol	5
1.2 Les composantes du sol	6
1.2.1 Phase solide – Les constituants minéraux et organiques	7
1.2.1.1 Les constituants minéraux	7
1.2.1.2 Les constituants organiques	8
1.2.2 Phase liquide - Solution du sol	10
1.2.3 La phase gazeuse : Atmosphère du sol	10
1.3 La steppe et les sols steppiques en Algérie	12
1.3.1 La steppe	12
1.3.2 Les sols steppiques en Algérie	14

Chapitre 2 : Principaux types de microorganismes présents dans le sol

2.1 Bactéries	16
2.1.1 Bactéries du cycle de l'azote	17
2.1.2 Bactéries du cycle du soufre	19
2.1.3 Bactéries du cycle du fer	19
2.2 Actinomycètes	19
2.3 Champignons	21
2.4 Les algues	22
2.5 Les protozoaires	23

Chapitre 3. Influence des facteurs écologiques sur la distribution de la microflore du sol

3.1 Les facteurs climatiques	24
3.1.1 L'humidité du sol	24
3.1.2 La température	24
3.1.3 Influence des saisons	25
3.2 Influence du sol	25
3.2.1 Le pH	25
3.2.2 La salinité	26
3.2.3 La texture et la structure	26
3.2.4 Les nutriments	27
3.3 Influence de l'altitude	28
3.4 Facteurs biologiques	28

3.4.1 Interactions entre populations microbiennes	28
3.4.2 Influence de la végétation	28
<i>Deuxième partie : Matériel et méthodes</i>	
<i>Chapitre 4. Cadre physique du sous bassin versant de Oued K'sob</i>	
4. 1 Présentation du bassin versant du Hodna	29
4. 2 Présentation du sous bassin versant de Oued K'sob	30
4. 2.1 Cadre général	30
4. 2.1.1 Situation géographique	30
4. 2.1.2 Caractéristiques physiques du bassin versant de Oued k'sob	32
4. 2.2 Paramètres abiotiques de la région d'étude	32
4. 2.2.1 Topographie	32
4.2.2.1.1 Relief	32
4.2.2.1.2 Pente	33
4.2.2.2 Réseau hydrographique	34
4.2.2.3 Les données géologiques	34
4.2.2.4 Pédologie	36
4.2.2.5 Données climatiques	37
4. 2.3 Facteurs biotiques de la région d'étude	43
4.2.3.1 Données bibliographiques sur la végétation de oued K'sob	43
4.2.3.2 Données bibliographiques sur la faune de oued K'sob	45
<i>Chapitre 5. Matériels et méthodes</i>	
5.1 Approches méthodologiques	46
5.1.1 Variation spatiotemporelle de la densité et la biomasse microbienne des sols du sous bassin versant de oued k'sob	46
5.1.2 L'effet des paramètres physicochimiques sur la biomasse et la densité des principaux groupes microbiens des sols du sous bassin versant de Oued K'sob	48
5.2 Méthodes d'analyses	48
5.2.1 Les analyses microbiologiques	48
5. 2.1.1 Estimation de la biomasse microbienne	49
5. 2.1.2 Les dénombrements indirects	49
5. 2.2 Les analyses physicochimiques	51
5.2.2.1 Analyse granulométrique	51
5.2.2.2 La densité apparente	51
5.2.2.3 La porosité	51
5.2.2.4 L'humidité	52
5.2.2.5 Mesure du pH	52
5.2.2.6 Mesure de la conductivité électrique (C.E)	52
5.2.2.7 Le calcaire total	53
5.2.2.8 Dosage du calcaire actif	53
5.2.2.9 Le carbone total (CO) et matière organique (MO)	54
5.2.2.10 Le dosage de l'azote total (N)	54
5.2.2.11 Rapport C/N du sol	54
5.2.2.12 La capacité d'échange cationique (CEC)	54

5.2.2.13 Dosage su phosphore assimilable (P)	55
5.2.2.14 Bilan ionique	55
5.2.3 Analyse statistique	55
<i>Troisième partie : Résultats et discussion</i>	
<i>Chapitre 6. Les variations de la densité et la biomasse microbienne des sols selon les saisons et l'altitude</i>	
6.1 Effet de la variation de l'altitude et la variation saisonnière sur la densité et la biomasse microbienne	57
6.1.1 La biomasse microbienne	57
6.1.2 La microflore totale	59
6.1.3 Densité bactérienne	62
6.1.4 Actinomycètes	65
6.1.5 Densité fongique	68
Conclusion	70
<i>Chapitre 7. Les variations de la densité et la biomasse microbienne selon les caractéristiques édaphiques</i>	
7.1 Effet des caractéristiques édaphiques sur la densité et la biomasse microbienne	72
7.1.1 La texture	74
7.1.2 La densité apparente et la porosité	76
7.1.3 L'humidité	79
7.1.4 Le pH	80
7.1.5 La salinité	82
7.1.6 La matière organique	84
7.1.7 L'azote et le C/N	85
7.1.8 Le calcaire total	87
7.1.9 Le calcaire actif	88
7.1.10 Phosphore	89
7.1.11 La CEC	90
7.1.12 Les anions	92
7.1.12.1 Les chlorures	92
7.1.12.2 Les bicarbonates	93
7.1.13 Les cations	94
7.1.13.1 Le potassium	94
7.1.13.2 Le sodium	95
7.1.13.3 Le calcium	96
Conclusion	97
<i>Conclusion générale</i>	99
<i>Références bibliographiques</i>	102
<i>Annexes</i>	123
<i>Article</i>	
<i>Communications affichées</i>	
<i>Résumés</i>	

Introduction

Introduction

Le sol est la couche supérieure de la croûte terrestre, transformée par des processus climatiques, physiques, chimiques et biologiques, composée de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants, organisée en horizons de sols (ISO, 2015). Il est l'un des environnements les plus complexes de la biosphère (Allan et Prosser, 1983 ; Perry et *al.*, 2004).

D'un point de vue écologique, le sol représente l'un des plus importants réservoirs de diversité biologique de notre planète (Swift et *al.*, 1998; Jangid et *al.*, 2010), dont la microflore représente une part importante de cette biodiversité (Allison et Martiny, 2008; Torsvik et *al.*, 1990). Elle inclut majoritairement des bactéries, des champignons, (Bakken et *al.*, 1997; Aislabie, 2013) et des actinomycètes (Focht et Martin, 1979; Bakken et *al.*, 1997; Lavelle et Spain, 2001).

Les sols des zones arides et semi-arides étaient supposés pendant longtemps, comme milieux stériles. Mais les travaux d'exploration ont montrés qu'il existe des espèces microbiennes, qui s'adaptent aux conditions climatiques extrêmes (Sasson, 1967).

Dans les environnements terrestres, les communautés microbiennes du sol occupent des positions clés dans la définition et le maintien des équilibres pédologiques. Elles jouent des rôles pivot dans les processus d'écosystème de sol (Fierer et Jackson, 2006; Giller et *al.*, 2009; Schimel et Schaeffer, 2012; Philippot et *al.*, 2013), comme, les cycles biogéochimiques « comme le carbone et l'azote ou des éléments en traces » (Schimel et Schaeffer, 2012; Aislabie et *al.*, 2013; Frouz, 2017; Gupta et Diwan, 2017) ; la bioremédiation par la dégradation des polluants organiques et la rétention de polluants métalliques ; action sur la structure des sols et la croissance des plantes (Ranjard et *al.*, 2000),... etc.

En agriculture, les bactéries peuvent être utilisées au lieu de pesticides en lutte biologique (Lucy et *al.*, 2004) (ex : *Bacillus thuringiensis*), ainsi elles ont un effet avantageux sur la croissance de plantes comme les PGPR (Lugtenberg et Kamilova, 2009).

Du point de vue environnemental, les communautés microbiennes participent au recyclage des éléments nutritifs, à la résilience des écosystèmes, à la régulation des variations climatiques, etc.

Comme la microflore du sol joue un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes donc l'étude de sa nature, de son nombre, de ses interactions avec les autres composantes de l'écosystème, est un élément nécessaire.

Les changements des communautés microbiennes du sol peuvent avoir des impacts significatifs sur les propriétés biogéochimiques du sol qui affectent finalement le fonctionnement des écosystèmes terrestres. En attendant, les microorganismes réagissent rapidement aux changements des conditions du sol, en particulier l'approvisionnement en matière organique (Silva et *al.*, 2010). Ils sont soumis aux influences des facteurs environnementaux.

Selon Cepel, 1995, des facteurs environnementaux peuvent être classifiés en tant que : des facteurs physiographiques (altitude, pente..), des facteurs climatiques (intensité de la lumière, température, humidité d'air, précipitation, et vent), des facteurs édaphiques (caractéristiques de sol), et facteurs biotiques (humains, animaux, plantes, et micro-organismes) (Topaloğlu et *al.*, 2016).

La distribution spatiale des microorganismes habitant le sol est hautement hétérogène, à différentes échelles, mais demeure peu connue. Des études ont toutefois démontré l'existence de liens entre la distribution spatiale des micro-organismes avec la distribution spatiale de paramètres physico-chimiques du sol (Guo-Mei et *al.*, 2010; Saravanakumar et *al.*, 2016; Dang et *al.*, 2017).

L'effet saisonnier sur la communauté microbienne du sol a souvent été rapporté dans la littérature. Les études précédentes ont souvent indiqué qu'il y a une variabilité saisonnière des communautés microbiennes (Bossio et *al.*, 1998; Smalla et *al.*, 2001; Dunfield et Germida, 2003) .

Dans la majorité des études de l'écologie microbienne, l'objectif principal est de comprendre la réponse adaptative des communautés microbiennes aux changements du milieu (Schmalenberger et *al.*, 2001).

Les études précédentes ont prouvé que la communauté microbienne du sol est également influencée par les changements de la matière organique du sol, pH du sol, de la teneur en eau (Bååth et *al.*, 1995; Taylor et *al.*, 1999; Davidson et Janssens, 2006; Tan et *al.*, 2008) , du type de sol (Girvan et *al.*, 2003), et de la texture de sol (Bekku et *al.*, 2004;

Kaštovská et *al.*, 2005; Kaštovská et *al.*, 2007). Ces facteurs alternativement sont influencés par le gradient altitudinaire (Kidanemariam et *al.*, 2012).

Quelques études ont indiqué qu'il y a une variation de la structure microbienne de la communauté et un changement dans l'activité microbienne avec l'altitude (Margesin et *al.*, 2009; Chang et *al.*, 2016).

Malgré les nombreux travaux qui ont été faites dans le domaine de l'écologie microbienne, plusieurs études montrent qu'il ya un manque de connaissance concernant :

- ✓ La distribution spatiale des microorganismes du sol dans les différentes échelles ;
- ✓ Leurs implications dans le fonctionnement du sol (Ranjard et *al.*, 2000).
- ✓ Les facteurs abiotiques influençant la structure fonctionnelle des communautés microbiennes.

Le fonctionnement microbiologique du sol est peu pris en compte à cause d'une méconnaissance des facteurs qui influencent ce fonctionnement. Il est donc important de mieux comprendre les variables qui peuvent influencer la composition de la microflore du sol.

Les objectifs du présent manuscrit se présentent comme suit :

- ✓ Étudier l'effet de l'altitude de notre zone d'étude sur les communautés microbiennes.
- ✓ Étudier le comportement de la communauté microbienne des sols dans le sous bassin versant de oued K'sob, face à des variations saisonnières.
- ✓ Indiquer le rapport entre les propriétés physico-chimiques de sol et les communautés microbiennes des sols du sous bassin versant de oued K'sob (M'sila) Algérie.

Dans le manuscrit, la première partie présente une étude bibliographique divisée en trois grandes parties distinctes. La première rapporte des données générales sur le sol, ses caractéristiques physiques et chimiques et les sols steppiques, la deuxième porte sur les principaux types de microorganismes présents dans le sol et la troisième se focalise sur l'influence des facteurs écologiques sur la distribution de la microflore du sol.

La deuxième partie est consacrée au matériel et aux méthodes expérimentales mises en place pour la réalisation de ce travail. La troisième partie présente et discute l'ensemble des résultats obtenus.

Une conclusion générale synthétise l'apport de ce travail à la connaissance de la microbiologie des sols ainsi que des recommandations et des perspectives.

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur le sol

1.1 Le sol

Le sol est la couche la plus externe, marquée par les êtres vivants, de la croûte terrestre, transformée par des processus climatiques, physiques, chimiques et biologiques, composée de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants, organisée en horizons de sols (ISO, 2015).

Le sol est un milieu dont la composition et les caractéristiques présentent un double variabilité, à la fois spatiale et temporelle. La variabilité spatiale du sol se traduit verticalement par la présence de couches plus ou moins épaisse, appelées « horizons », et latéralement par l'existence de sols différents. Il faut tenir compte dans la description de la variabilité temporelle certaines caractéristiques varient suffisamment lentement pour admettre qu'elles sont constantes à l'échelle humaine ; c'est par exemple, souvent le cas de la composition granulométrique. D'autres, au contraire, varient plus ou moins rapidement et nécessitent des observations rapprochées pour être correctement observées et décrites. C'est le cas de la teneur en eau et de la composition ionique du sol (Calvet, 2013).

La formation des sols résulte de la combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques. L'examen de pratiquement n'importe quelle roche exposée révèle la présence d'algues, lichens, ou de mousses. Ces organismes sont dormants sur la roche sèche et croissent lorsqu'existent un peu d'humidité. Ils sont phototrophes et produisent de la matière organique, qui permet la croissance des bactéries et champignons chimioorganotrophes. Le nombre des chimioorganotrophes augmente directement en relation de l'importance de la couverture végétale. Le dioxyde de carbone produit pendant la respiration des chimioorganotrophes est transformée en acide carbonique, qui joue un rôle important dans la dissolution des roches et particulièrement des calcaires. De nombreux chimioorganotrophes excrètent aussi des acides organiques qui poursuivent la dissolution des roches en particules plus petites (Madigan et Martinko, 2007).

Le gel, la fonte et d'autres processus physiques provoquent des cassures dans les roches. Un sol brut se forme dans ces crevasses et les plantes pionnières s'y développent. Les racines des plantes pénètrent plus en profondeur, augmentent la fragmentation des roches, et leurs excréta favorisent le développement d'une microflore dans la rhizosphère. Lorsque les plantes meurent, leurs restes s'ajoutent au sol et deviennent des nutriments permettant un développement microbien encore plus important. Les minéraux sont solubilisés, et par

percolation, l'eau transporte ces substances chimiques en profondeur (Madigan et Martinko, 2007).

Avec l'érosion, l'épaisseur du sol augmente, permettant le développement de plantes plus grandes ainsi que d'arbres. Les animaux du sol s'installent et interviennent dans le mélange et l'oxygénation des couches superficielles (Pelczar et Chan, 1982).

Finalement, les mouvements descendants de matériaux conduisent à la formation de couches, déterminant le profil du sol (Pelczar et Chan, 1982). Sous nos climats tempérés, l'épaisseur du sol (de la roche mère jusqu'à la surface) s'étend de quelques décimètres à quelques mètres. En moyenne épais de 1 à 2 mètres, le sol est plus fertile dans sa partie superficielle appelé l'épisolum humifère (Gobat et *al.*, 2010).

Le taux de formation d'un sol dépend d'acteurs climatiques et autres, mais peut prendre en général des centaines d'années (Pelczar et Chan, 1982).

1.2 Les composantes du sol

Le sol est un milieu polyphasique composé d'une phase solide (minérale et organique), d'une phase liquide, d'une phase gazeuse et, colonisé par des organismes vivants (Djigal, 2003), qui interagissent fortement entre eux (figure 1).

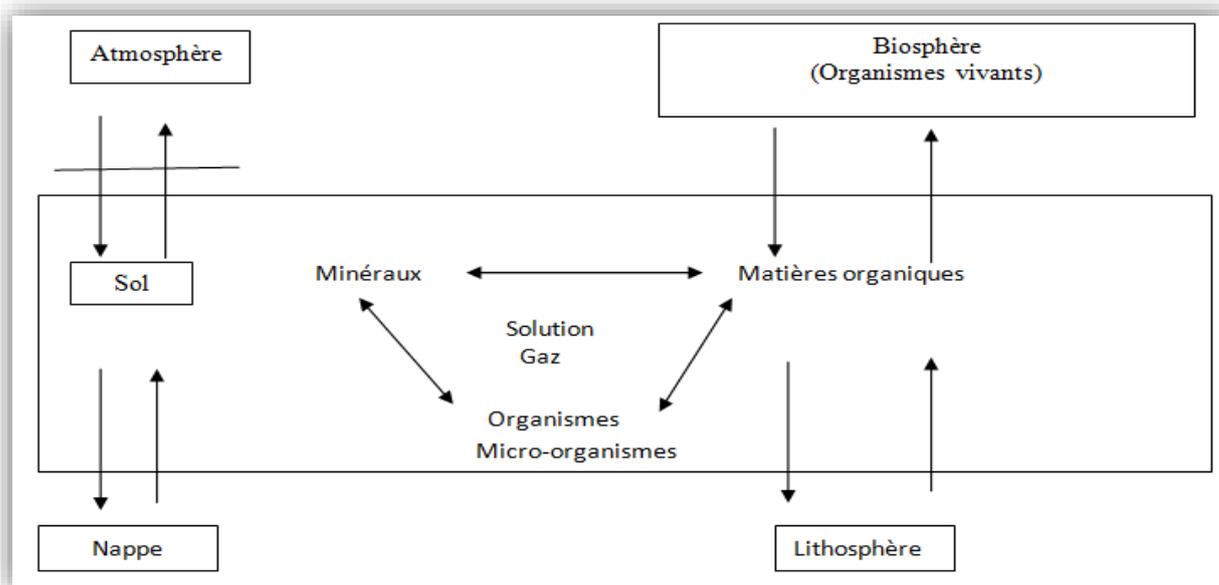


Figure 1 : Les sols bio réacteurs interactifs, multiphasiques à l'interface atmosphère-hydrosphère- biosphère- lithosphère (Girard, 2005).

1.2.1 Phase solide – Les constituants minéraux et organiques

1.2.1.1 Les constituants minéraux

Les constituants minéraux du sol sont primaires, hérités directement de la roche-mère (quartz, feldspaths, micas...), ou secondaires, issus de la transformation chimique des précédentes et réunis alors dans le complexe d'altération (Gobat et *al.*, 2010). Celui-ci comporte les minéraux argileux, des oxyhydroxydes de fer, d'aluminium, de manganèse rarement purs et bien souvent associés à des matières organiques de type humique, elles-mêmes en cours de transformation (Girard, 2005).

Deux processus commandent l'évolution des roches, la désagrégation et l'altération biochimique. Ces deux processus produisent un mélange de constituants de tailles et de qualités minéralogiques variées, qui peuvent être classés selon deux critères, d'ordres granulométrique ou minéralogique.

➤ La composition minéralogique

Elle est caractérisée par la teneur et la nature des minéraux, dont les plus abondants sont les minéraux argileux, les oxydes et hydroxydes métalliques et carbonates. La composition minéralogique est souvent indispensable à la description et à la compréhension des processus pédologiques (Calvet, 2013).

➤ La composition granulométrique

Elle est caractérisée par les proportions de particules minérales classées suivant leurs dimensions (diamètre apparent).

Classes AFNOR :

Argiles granulométriques= diamètre apparent $< 2\mu\text{m}$

Limons granulométriques= $2\mu\text{m} < \text{diamètre apparent} < 50\mu\text{m}$

Sables granulométriques= $50\mu\text{m} < \text{diamètre apparent} < 2000\mu\text{m}$

Détermination : principalement par sédimentation (application de la formule de stockes)

Les minéraux argileux et les oxydes sont les plus abondants dans la fraction « argiles granulométriques ». Les carbonates peuvent se trouver dans toutes les fractions.

La composition granulométrique permet de donner aux sols une appellation texturale correspondant à une texture donnée (Calvet, 2013).

1.2.1.2 Les constituants organiques

Parmi les éléments constitutifs du sol, la matière organique est importante dans l'édification de cette matrice et peut représenter 1 à 10 % de la masse des sols. Elles participent à la dynamique des éléments chimiques et contribuent à la stabilité de la structure des sols (Calvet, 2013).

a) Organismes vivants du sol : racines des végétaux, microorganismes (bactéries+ champignons + actinomycètes + algues), macrofaune (vers de terre, insectes), mésofaune (nématodes, acariens) et microfaune (protozoaires).

b) Matières organiques mortes : fragments de tissus végétaux et animaux, molécules individualisées (acides organiques carboxyliques et aminés, protéines, lipides, macro-biomolécules) et agrégats moléculaires (substances humiques) (Calvet, 2013).

Elle est constituée de différentes fractions représentées par :

- (i) La Matière Organique Fraîche (MOF) qui provient des déchets des organismes, de leurs sécrétions ou des tissus morts, elle provient également de débris végétaux (cellulose, hemicellulose, lignine, tanins) (Chenu, 1993),
- (ii) Les composés organiques intermédiaires, appelés « matières organiques transitoires», provenant de la transformation de la MOF.
- (iii) Les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes. Cette dernière partie représente à elle seule 70 à 90 % de la matière organique totale et constitue un stock de carbone important dans les sols (Arrouays *et al.*, 2002). Ces composés organiques humifiés sont séparés en trois fractions suivant leur solubilité : les acides fulviques très solubles à tout pH, les acides humiques insolubles à pH acide, et l'humine insoluble. Les acides fulviques sont électronégatifs et ont la capacité de complexer les cations. Les acides humiques forment des complexes avec les argiles, les minéraux, et ions métalliques ainsi qu'avec les composés organiques hydrophobes (Parent et Velegol, 2004).

Composition élémentaire des matières organiques mortes

a) Carbone

Les sols sont la plus grande réserve de carbone à la surface de la terre. La quantité de carbone organique est très variable selon le type de sol, mais elle dépend aussi d'autres facteurs : le temps, le climat, la végétation, les roches parentales et topographie (Calvet, 2013).

b) Azote

Les sols ne contiennent qu'environ 0,04%. L'azote s'y trouve principalement sous forme organique, (90% environ) et sous forme inorganique, en solution (anion NO_3^- principalement) et liée aux minéraux argileux (NH_4^+).

L'azote se trouve dans toutes les fractions des matières organiques du sol, dans des composés très divers, libres ou liés aux minéraux et aux substances humiques (Calvet, 2013).

La quantité d'azote du sol dépend de plusieurs facteurs : le temps, la végétation, le climat, le type de sol et les modalités d'utilisation des sols (Calvet, 2013).

c) Phosphore

Le phosphore des sols a une origine principalement minérale, mais une partie parfois importante (15% à 80%) du phosphore total se trouve sous forme organique. Néanmoins, comme pour l'azote, la teneur totale des sols dépend beaucoup de la végétation, du climat et de la nature du sol. Les plantes contiennent quatre types de composés organiques du phosphore : les phytines, les sucres phosphatés, les phospholipides et les acides nucléiques. Les phytines, ou phosphates d'inositol, sont la forme organique du phosphore la plus abondante (Calvet, 2013).

d) Soufre

La plus grande partie du soufre se trouve dans le sol sous forme organique du soufre total car la forme inorganique SO_4^{2-} ne reste pas dans le sol, étant sujette au transport dans les eaux.

Les composés organiques soufrés sont d'origine végétale, animale et microbienne. Leur nature chimique est très variée, mais deux types de composés organiques sont dominants : les esters, composés avec des liaisons C-O-S (sulfates d'alcool), et des composés possédant des liaisons C-S (cystéine, méthionine) (Calvet, 2013).

1.2.2 Phase liquide - Solution du sol

On appelle solution du sol, l'ensemble constitué de l'eau du sol et des substances qui y sont dissoutes (Gobat et *al.*, 2010).

La solution du sol est un carrefour fonctionnel important, grâce à sa capacité de transporter les substances. Elle assure la lixiviation des cations lors de la pédogenèse, elle est le siège de nombreux processus de solubilisation ou d'insolubilisation (Gobat et *al.*, 2010).

La teneur globale en eau d'un sol est soumise à des changements très rapides, fonctions des précipitations, de l'évapotranspiration et des remontées capillaires. Elle dépend de plusieurs facteurs : la nature des constituants, la structure du sol, les agents climatiques, les précipitations et la température. Elle est donc très variable, à la fois dans l'espace et dans le temps. Cet aspect quantitatif de la rétention est complété par un aspect énergétique lié à l'intensité avec laquelle l'eau est retenue et à diverses contraintes (pression, gravité...) qui déterminent sa mobilité et, par conséquent, son transport et sa biodisponibilité (Gobat et *al.*, 2010).

1.2.3 La phase gazeuse : atmosphère du sol

L'atmosphère du sol est l'ensemble des gaz libres ou dissous difficile à doser (Gobat et *al.*, 2010). Les plus importants de ces gaz sont l'O₂ provenant de l'atmosphère et le CO₂ provenant des respirations et fermentations des organismes du sol et des organes non chlorophylliens des plantes supérieures (Frontier et Pichod-Viale, 1995).

Dans le sol, l'air occupe les pores abandonnés par l'eau lors de son retrait, d'abord les plus grossiers, puis les plus fins. Sa quantité dépend ainsi d'une combinaison entre la texture, la structure et la teneur en eau. Mais il est aussi en échange avec l'atmosphère extérieure, dans des concentrations relatives différentes en gaz libres. La composition de l'air dans le sol présente des fluctuations saisonnières liées à l'activité biologique : la respiration des racines, de la microflore aérobie et de la faune consomme de l'oxygène et rejette du gaz carbonique (Gobat et *al.*, 2010).

A l'instar de la solution du sol, l'atmosphère du sol agit de multiples façons sur les êtres vivants. Pour l'ensemble des eucaryotes et pour nombreux procaryotes, le facteur limitant principal est bien sur l'oxygène : sa teneur doit être suffisante pour assurer le processus fondamental de la respiration aérobie (Gobat et *al.*, 2010).

A cet effet direct de l'oxygène, on peut ajouter celui du dioxyde de carbone CO₂ dont les teneurs élevées ralentissent l'activité de certains microorganismes (Gobat et *al.*, 2010).

La proportion relative de liquide et de gaz affectant les phénomènes aérobies et anaérobies, dépend de la saturation des sols et de la circulation à l'intérieur du réseau des pores (Robert, 1992).

La texture

La texture reflète la part respective des constituants triés selon leur taille. On distingue la texture minérale qui est la proportion des sables, limons et argiles mesurés par l'analyse granulométrique, et la texture organique qui reflète la proportion de fibres et de matériel fin micro agrégé dans les matériaux holorganiques. Elle est une propriété stable (évolution seulement à long terme) mais influence directement la structure du sol (Gobat et *al.*, 2010).

La texture constitue une importante caractéristique du sol, elle influence plusieurs aspects de son fonctionnement comme la quantité d'eau retenue par le sol, ses capacités d'échange d'électrolytes et de cations. La texture du sol agit aussi sur la distribution et l'activité des organismes du sol et sur leurs interactions (Lavelle et Spain, 2001).

La structure

La structure du sol résulte des assemblages (agrégats) en trois dimensions des particules de minéraux (argiles, limons et sables granulométriques) et de matières organiques. Ces assemblages ne sont pas compacts, mais constituent des milieux poreux dont les caractéristiques ont une influence sur la porosité totale, qui fixe la capacité du sol à stocker l'air et l'eau. La solidité des assemblages détermine la stabilité de la structure et sa résistance aux actions de la pluie, du vent et des outils de travail du sol (Calvet, 2013).

La structure du sol est un état du sol, variant à court terme, par exemple selon les saisons. Elle dépend directement de la texture (l'inverse n'est pas vrai !) mais aussi de l'état des colloïdes, de la teneur en eau ou en matière organique et, dans une large mesure, de l'activité de la faune.

On l'observe aux échelles macroscopique- structure proprement dite- ou microscopique ; on parle dans ce cas de microstructure. La solidité de la structure, sa résistance aux agents de dégradation, est évaluée par des tests de stabilité structurale.

Selon leur taille, les structures agrégées se divisent en quatre types, reflétant des propriétés physiques ou chimiques différentes (Wilson, 1991 ; Elliott et *al.*, in (Powlson, 1996)):

Microagrégats de 2 à 20 μm , très stables, formés de matière organique liée aux argiles et aux limons fins, et de polysaccharides bactériens ;

Microagrégats de 20 à 250 μm , contenant des limons grossiers et des sables, agrégés par des polysaccharides bactériens ;

Macroagrégats de 250 à 2000 μm , formés des précédents et de sables grossiers reliés par des polysaccharides, des cellules bactériennes et du mycélium ;

Macroagrégats supérieurs à 2000 μm , composés des précédents associés à des particules de matière organique libre, des racines et du mycélium, ces derniers consolidant le tout (Gobat et *al.*, 2010).

Le sol peut donc présenter de nombreux niveaux d'organisation, chaque niveau ayant une stabilité variable. La structure du sol représente une mosaïque de microenvironnements qui diffèrent par leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. Le volume des espaces des sols dépend plus de la taille, de la forme et de la stabilité des agrégats que des particules minérales elles-mêmes (Ranjard et Richaume, 2001).

1.3 La steppe et les sols steppiques en Algérie

1.3.1 La steppe

Le terme steppe, comme le définit (Le Houérou, 1995) évoque d'immenses étendues plus ou moins arides, couvertes d'une végétation basse et clairsemée. Par contre plusieurs auteurs tels que (Senoussi et *al.*, 2014), considèrent que la steppe comme un espace qui constitue une zone tampon entre le désert du Sahara et la " ceinture verte " du nord du pays.

C'est un écosystème caractérisé par une formation végétale hétérogène discontinue plus ou moins dense, composée de plantes herbacées et arbustives xérophiles de hauteur limitée, et par des sols généralement maigres à faible taux en matière organique (Kadi-Hanifi-Achour, 2004).

En Algérie, la steppe constitue une vaste région qui s'étend entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, couvre une superficie globale de 20 millions d'hectares

(Figure 2). Formant un ruban de 1 000 Kms de long, sur une largeur de 300 Kms à l'Ouest et au centre réduite à moins de 150 Kms à l'Est.

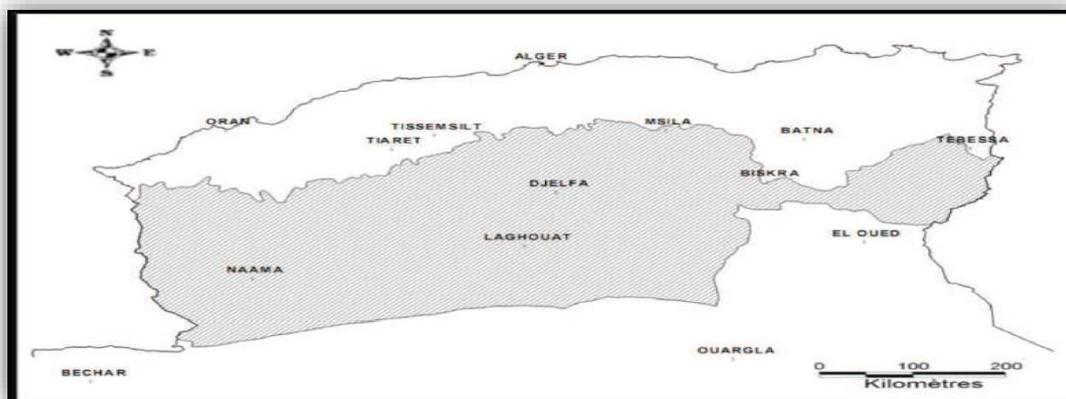


Figure 2 : Délimitation de la steppe Algérienne (Nedjraoui, 2002)

Les limites de cette zone s'appuient sur les critères pluviométriques (entre 100 et 400 mm de pluie comme moyenne annuelle).

Les 20 millions d'hectares comprennent 15 millions d'hectares de steppe proprement dite et 5 millions d'hectares de terres cultivées, de maquis, de forêts, et de terrains improductifs (Bencherif, 2011).

La steppe couvre l'ensemble des hautes plaines (1000 à 1400 m d'altitude) sauf dans les zones basses, au niveau des chotts Zahrez et sebkhas (<800 m).

Les zones steppiques peuvent être différenciées en sous-ensembles :

- 1- La bordure sub-steppique *isohyètes 300-400 mm*.
- 2- Région steppique proprement *isohyètes 200-300 mm*.
- 3- Région steppique présaharienne *isohyètes 100-200 mm*.

D'après (Bencherif, 2011) La steppe englobe douze (12) wilayas : Biskra, Khenchela, El Bayadh, Djelfa, Naâma, Tiaret, Tébessa, Laghouat, Saïda, M'sila, Souk-Ahras, et Batna.

La steppe algérienne se caractérise par un climat semi-aride sur sa partie Nord et un climat aride sur sa frange Sud. D'après (Le Houerou, 1977), le régime thermique de la steppe est de type continental, l'amplitude thermique annuelle est généralement supérieure à 20°C.

1.3.2 Les sols steppiques en Algérie

Les sols steppiques sont peu profonds et pauvres en matières organiques, caractérisés par une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation. Les bons sols se localisent dans les dépressions (sols d'apport alluvial), les lits d'oued, les dayas et les piémonts de montagne du fait que leur endroit permet une accumulation d'éléments fins et d'eau.

Les sols calcaires et calciques dominants sont caractérisés par une faible profondeur, une croûte calcaire, une teneur en matière organique très faible (inférieure à 1%) et décroissante selon la profondeur alors que le taux de calcaire croit et constitue une entrave au développement des plantes (Nedjimi et Homida, 2006; Nedjimi et *al.*, 2012). La texture est à dominance sableuse imposant une faible stabilité structurale et une faible capacité de rétention en eau ne permettant le développement que d'une végétation xérique adaptée aux conditions du milieu (Benabdeli, 2000).

Les sols carbonatés sont les plus répons en Algérie notamment dans les écosystèmes steppiques et présahariens où ils représentent des vastes étendus encroutés.

Les principaux types de sols selon la CPCS (1967) sont les suivants :

- On distingue plusieurs types de sols (Djebaili, 1983; Halitim, 1988; Kadi-Hanifi, 1998)

a- Les sols minéraux bruts

Ou sols très peu évolués sont localisés principalement sur les sommets des djebels et sont soumis à une érosion hydrique intense. Ces sols caractéristiques des forêts et des matorrals, comportent :

- les lithosols sur les roches dures (grès ou calcaires),
- les régosols sur les roches tendres (marnes et calcaires marneux),
- les sols minéraux bruts d'apport alluvial dans les lits des oueds caillouteux.

b- Les sols peu évolués regroupent :

- les sols d'origine colluviale sur les piedmonts des djebels et les glacis,
- les sols d'origine alluviale dans les lits d'oued, les zones d'épandage et les dayas,
- les sols d'origine éolienne avec des formations sableuses fixées.

c- Les sols calcimagnésiques

Regroupent les sols carbonatés parmi lesquels on retrouve :

- les rendzines humifères sur les versants des djebels,
- les sols bruns calcaires à accumulation calcaire qui sont très répandus sur les glacis,
- les sols à encroûtement gypseux qui sont plus rares,

Les sols carbonatés sont les plus répandus en Algérie, notamment dans les écosystèmes steppiques et présahariens (vastes étendues encroûtées) (Halitim, 1988).

d- Les sols iso humiques

Sont représentés dans les glacis d'érosion polygéniques du Quaternaire récent. Ils regroupent les sols à encroûtement calcaire ou gypseux. On les retrouve dans les régions arides lorsque les précipitations sont inférieures à 200 mm/an.

e- Les sols halomorphes

Regroupent les sols salins (solontchak) profils AC et les sols salins à alcalis (solontchak- solonetz) profil A (B) C. Ces sols sont généralement profonds et localisés dans les chotts et les sebkhas. Ils sont pauvres en matière organique et leur salinité est chlorurée, sulfatée sodique et magnésienne.

*Chapitre 2 : Principaux types de
microorganismes présents dans le sol*

Les communautés microbiennes du sol représentent la plus grande diversité que l'on rencontre sur terre. Avec une biomasse microbienne estimée de 1 tonne à 10 tonnes par hectare, elles représentent également une fraction considérable de la biomasse vivante sur terre (Fierer et *al.*, 2007). Elles peuvent être classées en :

2.1. Bactéries

Les bactéries sont des êtres unicellulaires dont la taille est proche du micromètre (CASDAR, 2011). Au plan quantitatif, elles forment le groupe majeur des microorganismes du sol (Morel, 1989; Maier et *al.*, 2009).

Selon (Dommergues et Mangenot, 1970), la population bactérienne moyenne d'un sol correspondrait à 10^9 cellules par gramme soit 2 400 kg/ha (Arpin et *al.*, 1980).

Comme on peut le constater, cette population microbienne varie énormément, non seulement selon le biotope, mais également en fonction des techniques et des milieux de culture utilisés (Arpin et *al.*, 1980).

Les bactéries sont classées en bactéries autotrophe, utilisation de carbone sous forme minéral, et bactéries hétérotrophes utilisation de carbone sous forme organique (Maier et *al.*, 2009; Clément et Lozet, 2011) mais la plupart d'entre elles sont des hétérotrophes (Duchaufour, 2001).

Dans le sol, on retrouve surtout des bactéries mésophiles (température optimale comprise entre 20 et 40°C) (Davet, 1996). Elles prolifèrent dans les milieux les plus riches en N, et aux milieux à des pH neutres ou légèrement alcalins ; elles sont surtout abondantes autour des racines de certaines plantes, au sein de la Rhizosphère.

Les bactéries sécrètent des composés organiques qu'on appelle « humine bactérienne », constituant à part entière de la matière organique humifiée (Gobat et *al.*, 2010).

La plupart des bactéries jouent un rôle important dans le cycle des éléments fondamentaux du sol, N, S, Fe, Mn, en particulier en intervenant dans les processus d'oxydoréduction. En relation avec leur fonction dans le sol, les bactéries du sol, seront classées en :

2.1.1. Bactéries du cycle de l'azote

➤ Protéolyse et ammonification

Un nombre considérable de microorganismes intervient dans ces processus, des bactéries, et aussi des actinomycètes et des champignons (Duchaufour, 2001).

➤ Nitrification

A. Le processus

La nitrification est due à des bactéries oxydant NH_4^+ en NO_2^- (nitritation) puis en NO_3^- (nitratation) en conditions aérobies. La nitrification peut être autotrophe ou hétérotrophe.

a. La nitrification hétérotrophe est réalisée par une microflore qui se développe sur des substrats carbonés organiques. Elle se limite principalement aux sols forestiers et aux milieux à faible pH et à température élevée. Elle est moins active que la nitrification autotrophe.

b. La nitrification autotrophe est le processus dominant en sol cultivé. En présence d'une source minérale de carbone, CO_2 ou bicarbonate, l'ammonium est oxydé successivement en hydroxylamine (NH_2OH), nitrite et nitrate. Ce processus fait intervenir des transporteurs d'électrons tels que NAD et FAD. Chaque étape est catalysée par un système enzymatique différent (Khalil, 2003).

B. Les micro-organismes nitrifiants

Les nitrifiants hétérotrophes, largement représentés chez les champignons (ex: *Aspergillus flavus*), les bactéries et les actinomycètes, sont capables de réaliser la nitrification en culture pure à partir de sources d'azote organique ou ammoniacal (Edwards et Killham, 1986).

Les nitrifiants autotrophes sont des bactéries nitrifiantes classées dans la famille des *Nitrobacteraceae* (Watson, 1971). Les bactéries oxydant l'ammonium en nitrite s'organisent en 5 genres : *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* et *Nitrosovibrio*. Les bactéries oxydant les nitrites en nitrates s'organisent en 4 genres : *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* et *Nitrospina*.

➤ La dénitrification

A. Le processus

La dénitrification est un processus respiratoire microbien au cours duquel des microorganismes sont capables de substituer à l'oxygène des formes oxydées de l'azote comme accepteur terminal d'électrons dans leur chaîne respiratoire. Les oxydes d'azote solubles, nitrates (NO_3^-) ou nitrites (NO_2^-), sont transformés en composés gazeux : oxyde nitrique (NO), protoxyde d'azote (N_2O) et/ou diazote (N_2).

Il faut distinguer respiration aérobie et respiration anaérobie. L'accepteur final d'électrons est l'oxygène pour la respiration aérobie. Différents accepteurs d'électrons peuvent être utilisés pour la respiration anaérobie, tels que NO_3^- , Mn, Fe, SO_4^{2-} , CO_2 (Paccard, 1995). Dans le cas des micro-organismes dénitrifiants, ces accepteurs sont : NO_3^- , NO_2^- , NO et N_2O (Hénault et Germon, 1995).

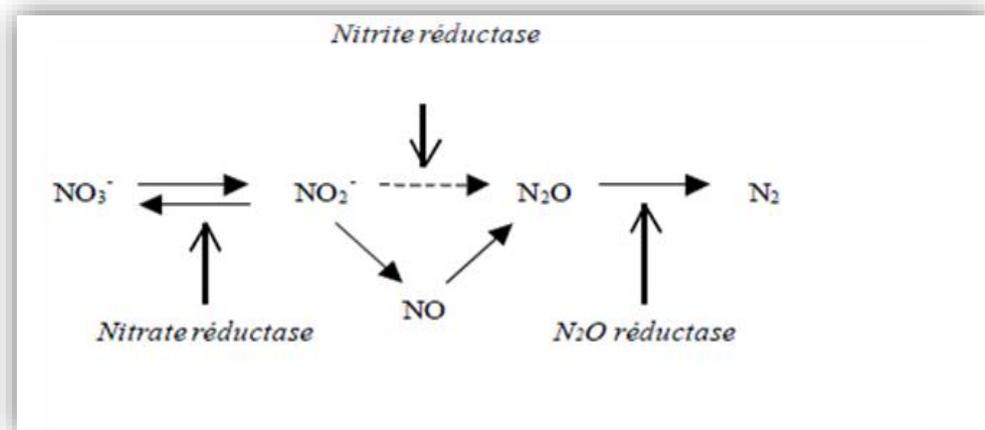


Figure 3 : Les étapes de la dénitrification (Hénault et Germon, 1995).

B. Les micro-organismes dénitrifiants

Les bactéries dénitrifiantes au sens strict sont des bactéries capables de réduire NO_3^- ou NO_2^- en N_2O et/ou N_2 et qui peuvent utiliser l'énergie libérée au cours de cette réduction pour se développer (Mahne et Tiedje, 1995).

Les bactéries dénitrifiantes sont en majorité hétérotrophes, elles tirent leur énergie de l'oxydation des matières organiques (organotrophes). Elles peuvent aussi être autotrophes et oxyder des composés minéraux comme Fe^{2+} et HS^- (chimolithotrophes).

Toutes les bactéries dénitrifiantes sont des bactéries aérobies pouvant s'adapter à une respiration sur NO_3^- , NO_2^- ou sur N_2O quand le milieu devient pauvre en O_2 (on parle de bactéries aérobies facultatives).

Les 2/3 de la microflore réduisent les NO_3^- en NO_2^- , mais seulement un faible pourcentage semble capable de réaliser toute la chaîne de réactions (Hénault et Germon, 1995).

➤ Fixation d'azote atmosphérique

La fixation libre (non symbiotique) est le fait des azotobacters qui sont aérobies, les clostridium, en revanche, sont anaérobies (Duchaufour, 2001).

2.1.2. Bactéries du cycle du soufre

Les unes, strictement anaérobies réduisent les sulfates dans les milieux tourbeux, libérant ainsi H_2S (*Desulfovibrio*). D'autres, aérobies, vivent dans les milieux aérés et oxydent les sulfures en sulfates (*Thiobacillus*) (Duchaufour, 2001).

2.1.3. Bactéries du cycle du fer

Elles se divisent à nouveau en deux groupes : les unes, autotrophes et aérobies, provoquent l'oxydation et la précipitation du fer ferreux, en milieu suffisamment aéré ; il s'agit du groupe ferro-bactéries. Les autres, hétérotrophes et anaérobies, provoquent au contraire la réduction du fer ferrique, en milieu mal aéré, facilitant ainsi la formation de sels ferreux insolubles au sein des gley (Duchaufour, 2001).

2.2. Actinomycètes

Les actinomycètes sont des microorganismes procaryotes hétérotrophes (Stolp, 1988). Ce sont en fait des Eubactéries Gram positives à structure végétative de type mycélien. Ils produisent des filaments fins et ramifiés dont le diamètre est équivalent à celui des champignons (compris entre 0,5 et 1 micromètre) (Alexander, 1977; Berthelin et Toutain, 1979). Ils forment des colonies circulaires constituées d'hyphes (Allan et Prosser, 1983), Elles résultent de l'accumulation des hyphes ramifiés et non pas de cellules comme c'est le cas chez les bactéries non filamenteuses. Le diamètre des colonies est variable de 1 à 10 mm. L'aspect des colonies peut être compact, sec, lisse, rugueux à contours lisse ou échancrés. Les colonies sont souvent pigmentées (blanc, crème, jaune, violet, rose, gris, etc... (Perry et al., 2004).

Les actinomycètes présentent des similitudes avec les Champignons (Roger et Garcia, 2001). Toutefois, leurs propriétés chimiques, physiologiques, immunologiques les rangent sans ambiguïté parmi les procaryotes (Becker et *al.*, 1965; Lechevalier et Lechevalier, 1967). Ainsi, leur paroi cellulaire ne renferme ni chitine ni cellulose mais du peptidoglycane, et leur cytologie est celle des bactéries. Ces caractères s'ajoutent à d'autres comme la sensibilité à des actinophages et à des antibactériens, qui confirment le bien-fondé de la classification des actinomycètes parmi les bactéries (Larpen et Sanglier, 1989; Mariat et Sebald, 1990).

Morphologiquement, les actinomycètes ressemblent à des champignons en raison de leurs cellules allongées qui se ramifient en filaments ou en hyphes. Ces hyphes peuvent être distingués des hyphes fongiques en fonction de leur taille, les hyphes actinomycètes étant de la moitié à un cinquième de la taille des hyphes fongiques. L'une des caractéristiques distinctives de ce groupe de bactéries est qu'elles sont en mesure d'utiliser une grande variété de substrats trouvés dans le sol, en particulier certains des insectes moins dégradables et des polymères végétaux comme la chitine, la cellulose et les hémicelluloses (Maier et *al.*, 2009).

Les actinomycètes constituent un composant significatif de la population microbienne dans la plupart des sols et plus de 1 million par gramme sont généralement obtenus (Goodfellow et Williams, 1983). Leurs proportions par rapport aux autres microorganismes oscillent entre 10 et 50%, mais ces pourcentages peuvent parfois dépasser les 90% dans certains sols des palmeraies algériennes et surtout en profondeur (Sabaou et *al.*, 1998; Sabaou et *al.*, 1992). Les actinomycètes sont généralement plus nombreux que les champignons, mais moins abondants que les autres bactéries (Belyagoubi, 2014).

Plusieurs études de l'écologie des actinomycètes ont prouvé que ces micro-organismes sont répandus en nature et peuvent se produire dans les environnements extrêmes (Barksdale et Kim, 1977). D'après (Goodfellow et Williams, 1983; Zaitlin et *al.*, 2003), les actinomycètes ont montré une capacité à s'adapter à différentes conditions hostiles : sols désertiques chauds et secs, pétrole brut, sols hautement contaminés par des métaux lourds, le froid (psychrophilie), des teneurs en sels élevées (halophilie) ou des pressions élevées (barotolérance). La plupart des actinomycètes de sol sont les aérobies stricts (Goodfellow et Williams, 1983) mésophiles et croissent de façon optimale dans la gamme de pH 5.0 à 9.0 avec une proximité optimale à la neutralité (Goodfellow et Williams, 1983; Williams et Wellington, 1982). Les germes les plus fréquents (*Streptomyces* et *Nocardia*) (Lechevalier et Lechevalier, 1967; Clément et Lozet, 2011) (Annexe 1).

Ils semblent jouer un grand rôle dans la transformation de certains composés organiques et minéraux du sol. Les actinomycètes ont aussi d'autres fonctions : sécrétion d'antibiotiques, notamment, est très utilisée en pharmacologie (Becking, 1970; Alexander, 1977). Ils sont indice d'un sol à bonne structure et/ou bonne aération (Clément et Lozet, 2011).

Tableau 1 : les caractéristiques et les fonctions des actinomycètes (Maier et *al.*, 2009).

Les caractéristiques	Les fonctions
Structure procaryotique	Source de produits naturels et d'antibiotiques, ex : streptomycine.
Taille 1-2 µm de diamètre	
Coloration de Gram : Gram positif	Produire de la géosmine le composé qui donne au sol et à l'eau une odeur de terre.
Respiration : principalement aérobie, peut être anaérobie	
Habitat : sol ou milieu marin	Capable de dégradation de molécules organiques complexes capables de fixation d'azote biologique avec des espèces de Frankia non légumineuses.
Abondance, sols 10 ⁶ - 10 ⁸ /g	

2.3. Champignons

Ce sont des microorganismes non photosynthétiques (Roger et Garcia, 2001), hétérotrophes (Duchaufour, 2001; Gobat et *al.*, 2010), regroupent une grande variété d'organismes eucaryotes qui sont divisés en sous-groupes en fonction de critères morphologiques (Roger et Garcia, 2001; Gobat et *al.*, 2010).

Comprend des organismes très variés : certains peuvent être unicellulaires, ou pluricellulaires. Les formes unicellulaires des mycètes, nommées levures, sont des microorganismes ovales plus gros que les bactéries. Les mycètes pluricellulaires les plus typiques sont les moisissures. Les moisissures forment des masses visibles appelées mycélium, constituées de longs filaments (hyphes) qui se ramifient et s'entrelacent (Pelczar et Chan, 1982). 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).

Les champignons sont ubiquitaire et surtout présents dans le milieu du sol (Maier et *al.*, 2009). Ils sont très variés et appartiennent à divers groupes : 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). Le nombre de champignons varie habituellement de 10⁵ à 10⁶ par gramme du sol.

Malgré leur nombre plus faible que celui des bactéries, les champignons contribuent généralement à une plus grande proportion de la biomasse microbienne totale du sol (Duchaufour, 2001).

Métaboliquement, les champignons sont des chimiotrophes (Maier et *al.*, 2009). Ils se nourrissent en absorbant des solutions de matière organique tirées de leur environnement. La plupart des champignons sont obligatoirement aérobies, mais il y a, bien sûr, des exceptions. Les levures sont facultatives (Maier et *al.*, 2009). Ils se reproduisent de façon sexuée (fusion de noyaux haploïdes et formation d'un zygote) ou de façon asexuée (formation de spores) (Duchaufour, 2001; Pelczar et Chan, 1982). Beaucoup de champignons du sol ont recours à ce dernier mode de propagation. La dissémination est alors assurée par la microfaune et les eaux de pluies (CASDAR, 2011).

Leur rôle dans le sol est considérable et très varié : il s'exerce surtout dans la phase de « décomposition » de la matière organique fraîche, qui précède l'humification : la plupart sont aptes à décomposer les celluloses, certains sont susceptibles d'hydrolyser les composés de nature phénolique, plus résistants : lignine, tannins (Bloem et *al.*, 1994; Duchaufour, 2001). Certains champignons sont associés aux racines des plantes supérieures, en formant les mycorhizes, à vie symbiotique, qui facilitent la croissance et la nutrition des espèces contaminées (Duchaufour, 2001).

Les champignons participent à la stabilité structurale du sol à travers leur structure mycélienne ramifiée qui assure une cohésion particulière dans les couches superficielles du sol (Gobat et *al.*, 2010). Ils ont aussi la capacité de transporter activement des quantités importantes d'eau et de substance d'un endroit à l'autre du sol (Gobat et *al.*, 2010).

2.4. Les algues

Les algues se trouvent en abondance dans l'eau douce et l'eau salée, dans le sol et en association avec les plantes (Maier et *al.*, 2009).

Dans le sol, les algues sont photoautotrophes et sont surtout présentes sur la surface du sol ou en subsurface pour recevoir un minimum d'éclairage nécessaire pour la photosynthèse. Certaines sont hétérotrophes (Euglènes) peuvent vivre plus profondément.

Elles sont des eucaryotes de formes très diverses, capables de reproduction aussi bien sexuée qu'asexuée (Maier et *al.*, 2009).

Les algues microscopique, unicellulaires ou en colonies filamenteuses, sont souvent abondantes dans le sol, mais restent localisées à sa surface ou dans les larges fissures (Gobat et *al.*, 2010). Trois groupes taxonomiques eucaryotes sont représentés : les algues vertes (Chlorophycées : *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Pleurococcus*), les algues jaunes-vertes (Xanthophycées : *Heterococcus*, *Vaucheria*) – ces deux groupes dominant dans les sols acides et les diatomées (Bacillariophycées : *Achnanthes*, *Navicula*, *Pinnularia*), majoritaires dans les sols neutres ou alcalins. Quant aux algues bleues, les « cyanophycées », elles sont en réalité des bactéries. Selon les sols, la biomasse algale est comprise entre 10 et 1000 kg de matière sèche par hectare (Gobat et *al.*, 2010). (Davet, 1996) a compté de 100 à 10⁹ individus par gramme de terre dans les sols (Gobat et *al.*, 2010).

Grâce à leur activité photosynthétique, les algues produisent leur nourriture et croître (Pelczar et Chan, 1982). Elles participent aux processus de formation de sol (Wild, 1993). Elles colonisent rapidement les surfaces minérales brutes, dont elles accélèrent l'altération par des substances dissolvantes. Elles produisent des polysaccharides extracellulaires qui agrègent les particules solides et en renforcent la cohésion (Gobat et *al.*, 2010). Certaines jouent un rôle non négligeable dans les processus de fixation d'azote (Wild, 1993; Duchaufour, 2001). C'est ainsi qu'elles jouent un rôle important dans l'équilibre de la nature (Maier et *al.*, 2009).

2.5. Les protozoaires

La plupart sont hétérotrophes, certains sont phototrophes ; ils se nourrissent de bactéries, de levures, de champignons et d'algues, ils peuvent être impliqués dans la décomposition de la matière organique (Wild, 1993; Maier et *al.*, 2009).

*Chapitre 3 : Influence des facteurs écologiques
sur la distribution de la microflore du sol*

L'écosystème sol étant soumis en permanence à des perturbations de tous ordres qui vont avoir de profondes répercussions sur la structure des communautés (Tarlera et *al.*, 2008). Il n'est pas encore possible aujourd'hui de prendre en compte tous les paramètres influant sur la composition de la microflore tellurique. Nous avons résumé les facteurs qui présentent une influence marquée sur la structure des communautés microbiennes.

3.1 Les facteurs climatiques

3.1.1. L'humidité du sol

L'un des principaux facteurs influant sur les communautés microbiennes des sols est l'humidité (Gómez-Hernández et *al.*, 2012). L'activité microbienne augmente progressivement avec l'augmentation de la teneur en eau du sol (Morel, 1989).

La plupart des microorganismes sont incapables de faire face à des environnements où l'activité de l'eau est très faible et, dans ces conditions, soit ils meurent, soit ils se déshydratent et sont réduits à un état de dormance (Madigan et Martinko, 2007). Selon (Boullard et Moreau, 1962), la résistance à la dessiccation des microorganismes du sol est très variable.

Dans les sols détrempés (remplis d'eau), l'oxygène est présent seulement sous forme dissoute dans l'eau, et il est rapidement consommé par les microorganismes. De tels sols deviennent rapidement anoxiques, ce qui induit de profonds changements dans leurs propriétés biologiques. Les actinomycètes sont rares voire absents lorsque la teneur en eau est supérieure à 85% de l'humidité à saturation (Alexander, 1977; Federle et *al.*, 1990).

3.1.2. La température

La température du sol représente un facteur écologique très important qui influe sur la multiplication des microorganismes (Sasson, 1967). L'action de la température est liée elle-même au problème de l'eau : lorsque la température augmente l'activité des germes passe par un maximum puis décroît (Dommergues et Mangenot, 1970).

On classe les microorganismes selon leur tolérance aux températures en 3 catégories : les *mésophiles* regroupant la plupart des microorganismes qui tolèrent des températures comprises entre 20 et 40°C, les *psychrophiles* qui sont capables de se développer à des températures comprises entre 0 et 5°C et les *thermophiles* dont l'optimum de température se situe entre 55 et 60°C (Maurel, 1994).

Dans le sol, la plupart des bactéries et actinomycètes ont un développement optimal entre 20 et 40C° (Davet, 1996; Goodfellow et Williams, 1983), les champignons, leur température optimale se situant aux environs de 26C° (Davet, 1996; Morel, 1989).

3.1.3. Influence des saisons

Il est évident que, la succession des saisons exerce un effet très important sur la microflore des sols. Elle est l'un des forts prédicateurs de la composition des communautés microbiennes et de la diversité (Lauber et *al.*, 2009). Les variations saisonnières de la microflore sont probablement dues en grandes parties, à des changements en qualité et quantité dans les apports nutritifs que constituent feuilles et branches mortes (Boullard et Moreau, 1962). Les saisons exercent donc une action sensible sur les micro-organismes, par l'intermédiaire de la végétation.

L'humidité et la température sont deux facteurs essentiels dont la combinaison oriente l'intensité saisonnière de l'activité microbienne. Les alternances de dessiccation et d'humectation stimulent l'activité des microorganismes (Morel, 1989).

3.2 Influence du sol

3.2.1 Le pH

Le pH semble être un facteur majeur impactant les communautés microbiennes, quel que soit l'échelle spatiale considérée.

Chaque organisme présente une gamme de pH où la croissance est possible et un optimum bien défini. La gamme de pH s'étend le plus souvent sur deux ou trois unités pH. La plupart des habitats naturels ont des pH compris entre 5 et 9. L'acidité ou l'alcalinité d'un environnement peut avoir une influence sur la croissance microbienne. Certains organismes se sont adaptés pour pouvoir croître à des pH bas ou élevés, mais la plupart des organismes ont un optimum de pH compris entre 6 et 8 (Madigan et Martinko, 2007).

Les bactéries prolifèrent dans les milieux à des pH neutres ou légèrement alcalins (Duchaufour, 2001). Les Actinomycètes, relativement favorisés dans les sols non acides (Bisset et Lewis, 1962), elles préfèrent des pH de 6 à 7,5 (Soltner, 2005). Les champignons sont souvent plus tolérants à l'acide que les bactéries (Duchaufour, 2001; Madigan et Martinko, 2007). De nombreux champignons ont un optimum de pH vers 5 ou moins, et certains se

développent très bien à pH 2. Cependant, on ne doit pas pour autant les considérer comme des acidophiles, ils se développent dans des limites de pH assez large (2 à 9) (Alexander, 1982).

3.2.2 La salinité

La salinité est l'un des processus de dégradation des sols dans les régions arides et semi arides. (Singleton et *al.*, 1982; Omar et *al.*, 1994; Pathak et Rao, 1998; Sheng et *al.*, 2013) ont démontré qu'en présence d'une salinité élevée, de nombreux processus physiologiques sont affectés; ces derniers sont essentiels pour la survie et le maintien de la biodiversité microbienne.

La salinité du sol a un impact négatif sur la biomasse microbienne du sol, cette dernière est diminuée avec l'augmentation du taux de la salinité du sol (Yuan et *al.*, 2007).

Quant à la sensibilité à la salinité, les champignons sont les microorganismes les plus sensibles (Dommergues et Mangenot, 1970). Donc le taux de salinité diminue le nombre de champignon. A forte concentration saline, (Polonenko et *al.*, 1986) ont remarqué une réduction de la croissance de nombreuses bactéries du sol.

L'inhibition de l'activité des microorganismes par les sels se traduit par une augmentation de la pression osmotique dans le sol. Celle-ci limite la croissance et l'activité des microorganismes (Dellal et Halitim, 1992; Rietz, 2003).

3.2.3 La texture et la structure

La texture du sol fait partie des paramètres du sol qui influencent sur la population microbienne. Elle régule le devenir de C et N dans le sol. La consommation de C et N par la biomasse microbienne est plus rapide dans les sols à texture grossière dont la capacité de protection physique de la matière organique est faible (Hassink, 1994; Sørensen et Jensen, 1995) ce qui n'est pas le cas dans les sols à texture fine qui assurent une protection physique de la matière organique.

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 ; 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 (Annabi, 2001).

Le sol avec un mélange du sable, limon, et les particules d'argiles offrent un habitat plus favorable pour des microorganismes parce qu'ils tiennent plus d'aliments et prévoient une

meilleure circulation de l'eau et d'air que font les sables ou les argiles purs. Les communautés microbiennes trouvées en sables ou argiles purs sont inférieures dans les nombres et l'activité (Maier et *al.*, 2009).

La structure du sol est également un facteur très important. De la formation et de la rupture des agrégats résultent deux actions possibles, opposées quant à leurs conséquences :

- L'inclusion des substances organiques à l'intérieur d'un agrégat, le rend temporairement inaccessible aux microorganismes ;
- La rupture des agrégats par broyage stimule la minéralisation rendue d'autant plus aisée que la dimension des agrégats est plus grande (Morel, 1989).

La structure du sol la plus favorable à la prolifération des microorganismes est la structure particulaire du fait qu'elle agit directement sur l'aération, la circulation et la teneur en eau (Morel, 1989).

3.2.4 Les nutriments

La teneur en nutriments d'un sol est l'autre facteur important qui peut agir sur la structure et l'activité des communautés microbienne (Boullard et Moreau, 1962; Goodfellow et Williams, 1983; Müller et *al.*, 2002). L'insuffisance du carbone (Asuming-Brempong et *al.*, 2008) pour les hétérotrophes ou des substances minérales réduites pour les chimioautotrophes limite la masse microbienne dans le sol.

Dans le cas des champignons, (Burgess et *al.*, 1963) a insisté sur le rôle capital du substrat carboné disponible comme source d'énergie, à la fois dans la détermination du nombre des espèces et dans celle de la répartition des espèces particulières (Sasson, 1967). Le métabolisme des bactéries hétérotrophes du sol est souvent limité par le carbone biodisponible dans le sol (Starr et Gillham, 1993). La présence de carbone disponible en faible quantité freine la multiplication des actinomycètes car leur compétitivité est moindre que celle des bactéries (Alexander, 1977).

Dans certains sols, le carbone n'est pas le nutriment limitant et ce sont plutôt les nutriments inorganiques comme le phosphore et l'azote qui limitent la productivité microbienne. Plusieurs travaux ont montré que plus la teneur en azote disponible dans le sol est importante, plus la biomasse microbienne et l'activité enzymatique associée le sont aussi (Recous et *al.*, 1995; Henriksen et Breland, 1999). Les résidus végétaux avec des C/N bas,

c'est-à-dire des taux d'azote élevés, permettent facilement leur dégradation par les microorganismes grâce à leur disponibilité en azote, contrairement aux résidus végétaux avec des C/N plus haut (Karabi, 2016). L'azote est donc un facteur important contrôlant la décomposition de MO.

3.3 Influence de l'altitude

L'altitude est l'une des variables importantes contrôlant la distribution des microorganismes du sol (Griffiths et *al.*, 2011).

Il a été mesuré que la diversité et la richesse bactérienne diminuent de façon monotone de la plus basse à la plus haute altitude. La plus faible diversité observable en haute altitude, suggère que seulement quelques micro-organismes se sont adaptés à ces environnements extrêmes (Bryant et *al.*, 2008).

3.4 Facteurs biologiques

3.4.1 Interactions entre populations microbiennes

Les interactions entre populations microbiennes peuvent être reconnues comme des interactions négatives (compétition, amensalisme), positives (commensalisme, synergique et mutualisme), ou positives pour l'un et négatives pour l'autre population (parasitisme ou prédation) (Djigal, 2003).

3.4.2 Influence de la végétation

Le couvert végétal apporte à la microflore non seulement de la matière organique, mais encore modifie le microclimat et les associations microbiennes au niveau des racines, produisant ce qu'on appelle un effet rhizosphère (Sasson, 1967).

La libération continue de nutriments organiques dans la rhizosphère stimule l'activité et la multiplication des microorganismes (Atlas et Bartha, 1993; Olsson et Alström, 2000).

En plus des interactions avec les microorganismes dans la rhizosphère, les racines des plantes établissent des relations symbiotiques spécifiques avec certains microorganismes du sol. Deux types d'associations ont fait l'objet d'un grand nombre d'étude, il s'agit des associations mycorhiziennes et des symbioses fixatrices d'azote.

Les sols nus sont beaucoup plus faibles en biomasse microbienne totale que les sols végétalisés (Boullard et Moreau, 1962).

Deuxième partie : Matériels et méthodes

*Chapitre 4 : Cadre physique du sous bassin
versant de oued K'sob*

4.1 Présentation du bassin versant du Hodna

L'Algérie compte 17 bassins- versants (Kadi, 1997) (Figure 4), parmi ces bassins on trouve le bassin du Chott El Hodna, il est répartie sur cinq wilayas : M'Sila, Batna, Biskra, Sétif et Bordj Bou Arreridj.

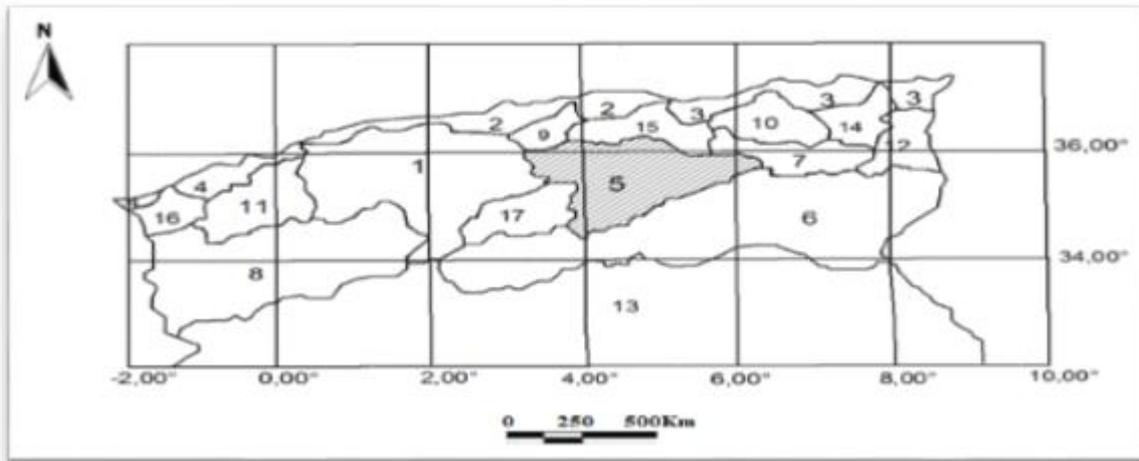
Le Hodna fait partie de la zone des Hautes plaines steppiques algériennes. Ces Hautes plaines encadrées par les Atlas, telliens au Nord, saharien au Sud, d'Est en Ouest, sont constituées par un chapelet de bassin endoréique (Chott-Chergui, Zahrez Gharbi et Chergui, Chott el Hodna, Garet Taref).

Le Hodna constitue une entité naturelle bien individualisée. C'est le trait d'union entre le Tell et le Sahara. C'est une cuvette de 8500Km², très déprimée, entourée de massifs montagneux assez élevés, qui sert de niveau de base à un bassin-versant trois fois plus étendu, dont les oueds les plus nombreux et les moins pauvres viennent du Nord et de l'Est (Hadjab, 1998).

L'ensemble du Bassin du Hodna se subdivise en quatre unités géomorphologiques : la région montagneuse, la plaine du Hodna, le chott et la Sebkhia du Hodna et la région du R'Mel.

Le Hodna ne reçoit que très peu de pluies. Il tombe 225 mm d'eau par an à M'sila et à Barika. Le climat est continental avec une amplitude thermique moyenne de 20° C entre le mois de Janvier et Juillet. Certaines années le Hodna subit un régime franchement saharien avec des chaleurs qui dessèchent en quelques heures la surface du sol et toutes végétations.

Le régime hydrologique du Hodna résulte à la fois de ce climat et du relief. La plupart des oueds ont leurs sources dans les Monts du Hodna et coulent suivant un trajet Nord-Sud, où les eaux convergent vers le chott el Hodna. Celui-ci est alimenté au Sud par les oueds M'cif, Boussaada, Maïtar et à l'Ouest par l'oued Leham formé par la confluence des oueds Sbisseb, Guetrini, Djenane et Targa. Dans sa partie centrale par les oueds Ksob, Selmane, Berhoum, Soubella, Boutaleb, Baliloul. A l'Est par les oueds Barika et Bitam. Une multitude d'autres oueds (Mouilha, El Kerma, El Bénia, Ma-Lahmar, Réchana....etc) proviennent du versant sud des Monts du Hodna (Hadjab, 1998).



01 Bassin duCheliff, 02 Bassin des côtières algérois, 03 Bassin des côtières Constantinois, 04 Bassin des côtières Oranais, **05 Bassin de Chott El Hodna**, 06 Bassin de Chott Melrhir, 07 Bassin des H. plateau Constantinois, 08 Bassin de Chott ech Chergui, 09 Bassin d'Isser, 10 Bassin de Kdir Rhumel, 11 Bassin de Macta, 12 Bassin de Medjerdah, 13 Bassin de Sahra, 14 Bassin de Seybouse, 15 Bassin de Soummam, 16 Bassin de Tafna, 17 Bassin de Zahrez

Figure 4 : Les bassins versants du Nord d'Algérie (Kadi, 1997).

4. 2 Présentation du sous bassin versant de Oued K'sob

4. 2.1 Cadre général

4. 2.1.1 Situation géographique

Le bassin versant de Oued k'sob (Figure 5) se situe aux confins Nord du grand bassin de Hodna. Il constitue la partie Ouest des hautes plaines constantinoises ; représentant un trait d'union entre le Tell et les monts du Hodna.

Le bassin versant de oued K'sob est constitué de deux ensembles physiques distincts, il s'agit des bordures montagneuses, entre lesquelles s'étend une vaste plaine, appelée hautes plaines de Bordj-Bou-Argeridj.

- Au Nord, sa limite est constituée par la ligne de partage des eaux entre le bassin du Soummam et le Chotte d'El-Hodna jusqu'au Djebel Mourissane puis jusqu'au sommet de Teniet Ben Azrag sur le Djebel Tarchett. Cette limite continue vers le Nord-Ouest jusqu'au sommet de Djebel Manssarah.

- Au Sud, il est constitué par les monts de Hodna matérialisés par la ligne de crête Ouest-Est de Djebel Maadid.

- A l'Est, s'étend de Djebel Safiet El Hamra jusqu'à L'Elalleche en prenant la direction Nord-Ouest à Draa Ouled Dehlebe, passant par Bir Aissa.

- A l'Ouest sa limite est Nord -Sud de Djebel Manssorah jusqu'au niveau du barrage du K'sob.

Selon le découpage administratif du 04 Février 1984, le bassin versant de Oued K'sob se situe à 97,7 % en superficie dans la wilaya de Bordj Bou Arréridj (B.B.Arréridj, Medjana, Hasnaoua, El K'sob, El Euch, Rabta, Hammadia, Belimour, Bordj Ghdir, Ras El Oued, El Annasser, Ouled Braham) et à 1,3 % et 1 % en superficie, respectivement dans les wilayas de Sétif (Ain Oulmène) et M'Sila.

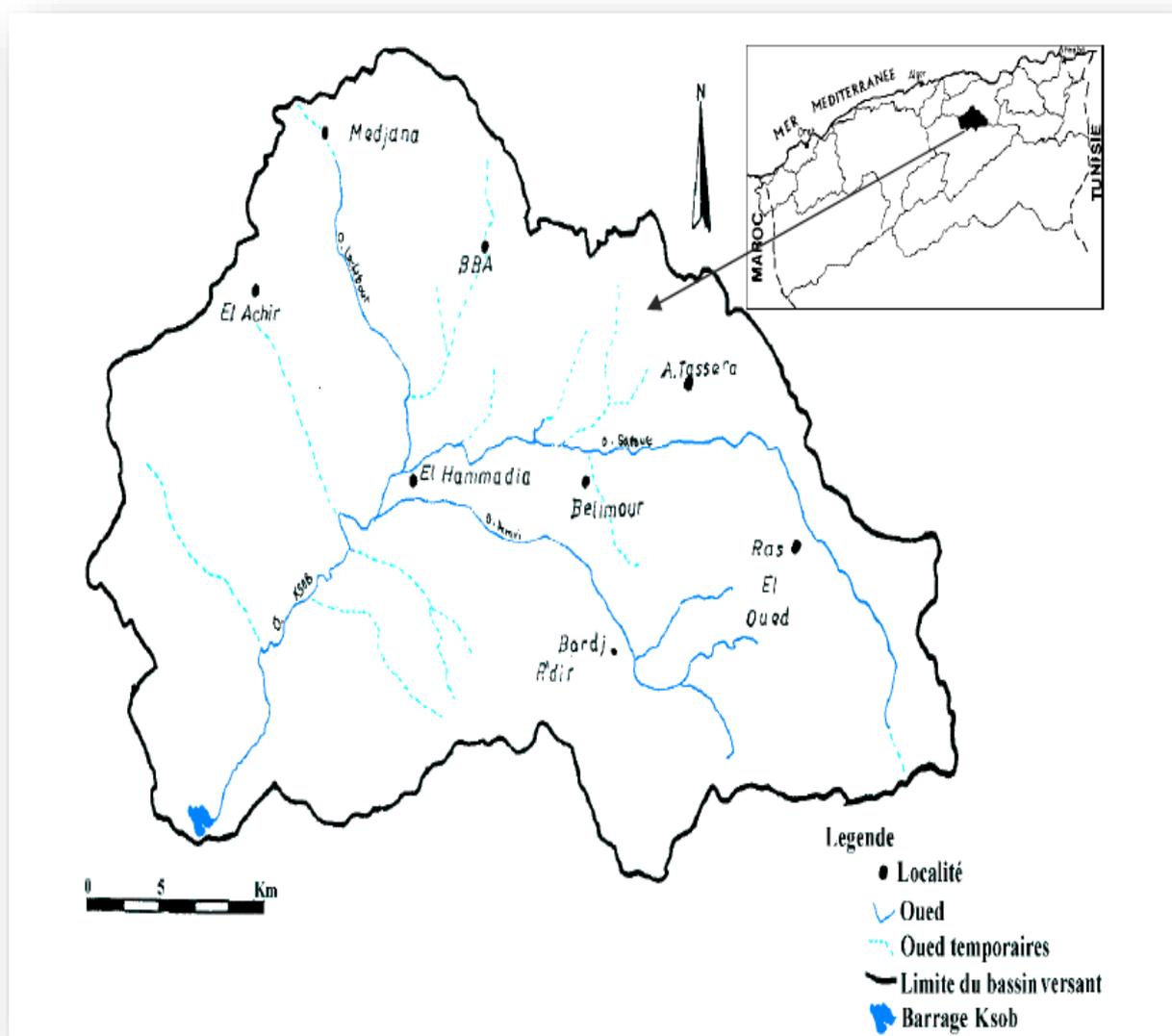


Figure 5 : Carte de bassin versant de Oued K'sob (ANRH, 2013 modifié).

Le bassin est subdivisé en 8 sous bassins dont les plus hiérarchisés sont ceux des Oueds de Ras El Oued, Bordj El R'dir, Soulit et Rabta. Les sous bassins restants ne reçoivent que les affluents non hiérarchisés surtout entre Medjez et le barrage El K'sob.

Le bassin versant de Oued K'sob est situé sur les versants Sud des monts du Hodna et ses eaux s'écoulent vers le Chott Hodna qui est un lac endoréique, c'est-à-dire dépourvu d'exutoire. En raison de la présence des villes de Sétif et Bordj Bou Arreridj sur leur territoire, l'accès de ces deux bassins versants est facilité par les autoroutes N°5, N°28 et N°45 (Mimeche, 2014).

4. 2.1.2 Caractéristiques physiques du bassin versant de Oued k'sob

Les caractéristiques physiques du bassin versant sont tirées de la monographie des grands barrages :

Tableau 2 : Les caractéristiques physiques du bassin versant (BV) de Oued k'sob (Benkadja et *al.*, 2013).

Caractéristiques	valeur donnée
Surface de BV	1494,5 km ²
Périmètre de BV	180 km
Longueur de Talweg principal	83 km
Coefficient de compacité de graveleuse	1,3
Altitude maximale	1585 m
Altitude minimale	590 m
Altitude moyenne	1070 m
L'altitude de sommet principal ; Djebel Nechar	1885 m
L'altitude de sommet principal ; Safiet El Hamra	1789 m

4. 2.2 Paramètres abiotiques de la région d'étude

4. 2.2.1 Topographie

4. 2.2.1.1 Relief

Le bassin versant de Oued K'sob se présente sous forme de cuvette à demi fermé, encadré par une ligne de relief relativement élevée, constituée au Nord par les monts de

Medjana à l'Ouest par les massif de Djebel Mansoura et au Sud par les monts du Hodna (Tatar, 1985). Ces reliefs sont composés de :

Les plaines : occupant (31%) situées dans sa partie centre Est et Sud Est (comprise entre 800 à 1000 m).

Les piémonts : occupant (28%) ce sont des glacis qui forment le record entre la pleine et le relief (100 à 1200 m). Avec une pente de 3 à 12,5%.

Les plateaux : occupant (22%) ce sont des plates-formes, situées en contre bas et en bordure des montagnes.

Les montagnes : moyennes montagne occupent 6 % situé à l'Ouest de bassin versant, altitude (1000 à 1400 m).

Hautes montagnes : occupent 13 %, située au sud de bassin versant et correspond au Mont de Hodna (altitude 1500 à 1885 m) avec une pente de plus de 45%.

4. 2.2.1.2 Pente

La figure 6 et le tableau 3, montrent que 51, 4% des terres dans le bassin versant ont une pente faible à modérée (0 - 10 %), et 34% des zones ont des pentes élevées (10 à 20%). La pente moyenne du bassin versant de Oued K'sob est de 14% (Benkadja et *al.*, 2013; Nemouchi, 2001).

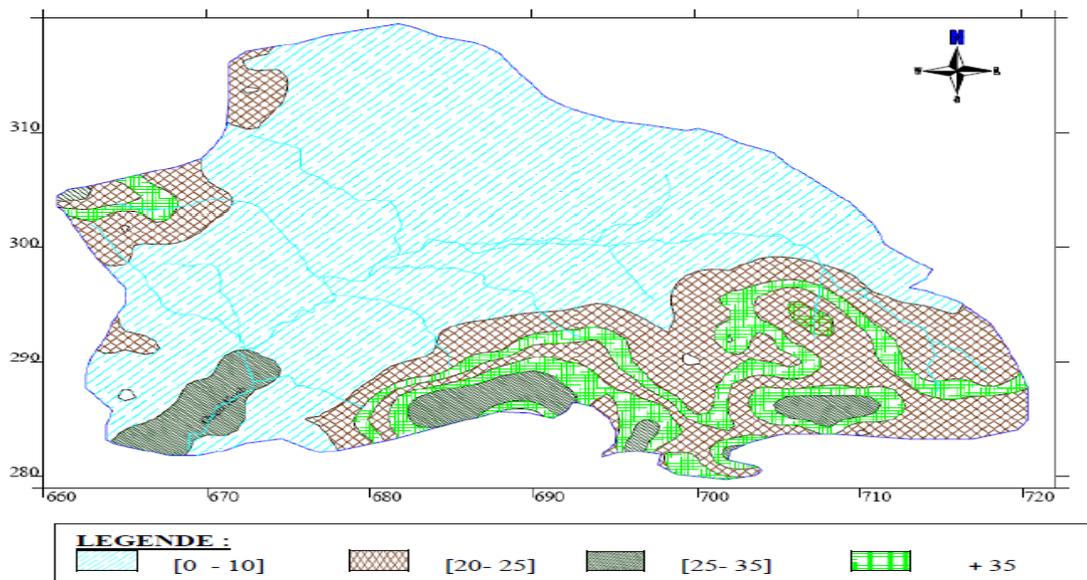


Figure 6 : Carte de pente du bassin versant de Oued K'sob (ANBT, 2013).

Tableau 3 : Distribution des pentes du bassin versant de Oued K'sob (ANBT, 2013).

Classe de pente (%)	Surface en Km ²	Surface %
0-5	491	33,2
5-10	270	18,2
10-15	241	16,2
15-25	261	17,6
>25	220	14,8

4.2.2.2 Réseau hydrographique

L'Oued K'sob résulte de la jonction de deux cours d'eau qui sont Oued Soulite et Oued Beyata prend d'abord une direction Nord-Est / Sud-Ouest jusqu'au barrage du k'sob, le lit d'Oued est large de 15 m en moyenne et le régime d'écoulement de Oued K'sob est endoréique. Les principaux affluents sont :

- Oued Toubou venant de la partie Nord-Ouest.
- Oued Rabta venant de la partie Sud-Est.
- Oued Rhafistane du Sud-Est.
- Oued Mezroug du Nord-Ouest.

L'Oued K'sob avant l'entrée dans le barrage à une abondance annuelle moyenne de 60 millions de m³ soit un débit spécifique de 1,51/s/km² soit un coefficient d'écoulement moyen de 11%. La densité moyenne du réseau hydrographique y est extrêmement forte (5,45 km/km²), cette zone est située surtout près du barrage (Tatar, 1985).

4.2.2.3 Les données géologiques

Il est utile d'indiquer la part attribuée aux différentes formations géologiques comme source de matériaux alluvionnaires et comme roche mère. L'étude géologique détaillée de la région ne fait pas l'objet de cette thèse. Nous nous contenterons de reprendre les anciens travaux effectués par les différents auteurs tels que : (Savorin, 1920; Emberger, 1960; Nemouchi, 2001)...etc.

Le bâti géologique du bassin versant de Oued K'sob comporte essentiellement, des formations d'âge secondaire, tertiaire, et quaternaire (Figure 7).

4. 2.2.3.1 Les principales unités litho stratigraphiques

A. Secondaire (mésozoïque)

A.1 Le Jurassique supérieure

Il est représenté par une série calcaro-marneuse.

A.2 Le Crétacée

A.2.1. Crétacée inférieur (Valanginien à l'Albien) les faciès sont à dominance, marno-gréseuses alternant parfois avec des minces niveaux gypseux (CuSO_4), et de calcaires.

A.2.2. Crétacée supérieur (Cénomaniens au Sénonien) la série est constituée de marnes noirâtres et verdâtres gypseuses avec de minces lits calcaires, de calcaires dolomitiques et se termine par des marnes gypseuses surmontées de calcaires et calcaires marneux.

B. Tertiaire (Cénozoïque)

B.1 L'Eocène

On distingue de façon classique :

- L'Eocène inférieur "calcaire" ;
- Le Lutétien supérieur lagunaire (marnes, argiles, gypse) ;
- Les grès rouges (série continentale Lutétien supérieur à Oligocène).

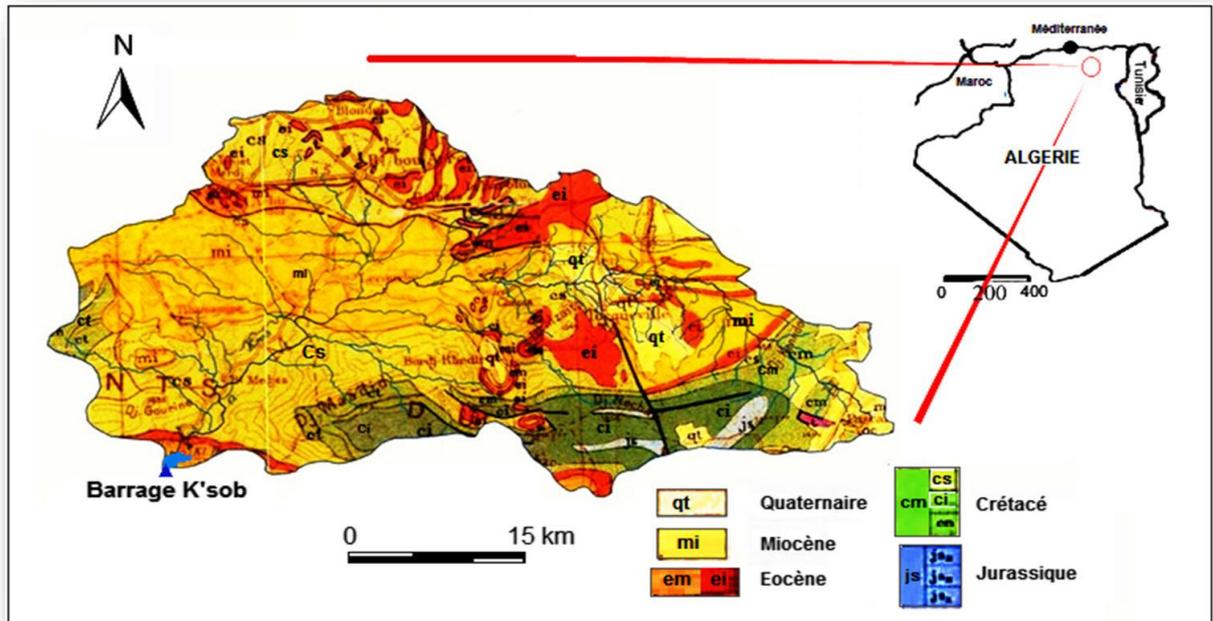
C. Quaternaire

Alluvions actuelles et récentes du fond des grands vallées, constituées de cailloutis, de sables calcaires et parfois de vases "Barrage du K'sob".

D'après (Benkadja et *al.*, 2013) l'analyse de la distribution géologique présente deux zones:

La zone 1 est formée par des formations lithologiques, qui sont Continué soumis à l'érosion mécanique. Cette zone est localise au Nord et au centre du bassin (alluvions quaternaires et terrasses, les argiles, marnes et de grès du Miocène).

La zone 2 est une zone formée par les formations dures (calcaire et dolomie) et est situé dans la partie sud du bassin.



Quaternaire : dépôts d'éboulis et alluvions ; Miocène : argiles et marnes gréseuses ; Eocène : calcaires et marnes ; Crétacé : calcaires marneux et dolomies ; Jurassique : calcaires ; Trias : argiles gypseuses

Figure 7: Carte lithologique du bassin versant de Oued k'sob (Benkadja et *al.*, 2015).

4.2.2.4 Pédologie

Dans ce travail l'étude des caractéristiques des soles ou l'étude pédologique de la zone d'étude est très importante.

Suivant la classification des sols fournie par l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) in (Tatar, 1985), les sols de notre région d'étude ont été divisés en deux classes fondamentales.

Première classe :

Ce sont des sols peu évoluée, sous-classe des sols d'origine climatique, groupe des sols gris subdésertique. Ces sols sont caractérisés par :

- Un profil du type AC.
- Une teneur en matière organique très légère.
- Une structure granuleuse ou polyédrique.
- Une conductivité inférieure à 4 μ s/cm dans l'ensemble du profil.

- Abondance de carbonate de calcium le long du profil.

Deuxième classe :

Ce sont des sols halomorphes, sous-classe des sols à structure non dégradée. Ces sols sont caractérisés par :

- Un profil peu évoluée, du type AC.
- Une structure généralement polyédrique.
- Une conductivité supérieure à 4 μ s/cm.
- Une quantité de carbonate de calcium.
- Un pH autour de 8 et souvent plus élevée.

Ces sols sont formés au dépend d'un matériau apporté par l'eau. Il présente en général une nappe phréatique à forte oxydation. Ils sont caractérisés par une structure massive, une texture hétérogène, une grande porosité, une bonne aération superficielle et d'importante quantité de matière organique. Les sols alluviaux peuvent être calcaires ou acides, sableux, vice caillouteux ; limoneux ou encore argileux. Sur un niveau plus élevé, nous avons, le long du réseau hydrique des terrasses plus ou moins encroûtées, leur étendue dépend de l'activité passé et actuelle des Oueds.

4.2.2.5 Données climatiques

Selon Legrain (2002), « Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, vent, précipitation...etc.) qui caractérisent l'état de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné ». Son analyse à l'échelle d'une région se base sur des données fournies par des stations météorologiques.

Le climat est un facteur déterminant qui se place en amont de toute étude relative au fonctionnement des écosystèmes (Dajoz, 1972 ; Ramade, 1993).

En effet, le climat joue un rôle fondamental dans la distribution des êtres vivants par son action sur leur physiologie et leur comportement (Sasson, 1967; Dajoz, 1972 ; Dreux, 1980; Faurie *et al.*, 1980)

Pour analyser les paramètres climatiques, nous avons utilisé les données climatiques de la station météorologique de M'sila (Tableau 4). Les données sont enregistrées durant une période de 29 ans (1988-2017). En outre, la station météorologique de M'sila a une altitude de 441 m, se localise à 5 Km au Sud de chef-lieu.

Pour découvrir le climat qui règne dans notre région, deux paramètres climatiques sont pris en considération : précipitations et températures.

Tableau 4 : Situation géographique de la station météorologique de M'sila

Station	Coordonnées		Altitude (m)
	Latitude	Longitude	
SMM	35°40' N	04°30' E	441

SMM : Station météorologique de M'sila, (consulté le 20/05/2019).

4. 2.2.5.1 La température

Selon (Dreux, 1980), la température est le facteur climatique le plus important. Elle joue le rôle le plus important de tous les facteurs climatiques. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivants dans la biosphère (Ramade, 1984).

Les moyennes mensuelles et annuelles des températures en degré Celsius (1988-2018) se trouvent dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Les températures moyennes, minimales et maximales mensuelles et annuelles en °C de M' sila

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy/an
m (°C)	0,4	0,1	2,32	5,78	9,52	16,13	21,36	20,5	14,8	7,81	4,40	1,45	8,72
M (°C)	13,3	13,77	18,69	22,86	26,84	32,08	37,53	34,65	31,09	23,97	17,57	13,06	23,79
(M+m)/2	6,87	6,9	10,5	14,3	18,18	24,11	29,45	27,58	22,95	15,89	10,99	7,25	16,25

SMM (consulté le 20/05/2019)

M : Température Maximale ; m : Température minimale ; (M+m)/2 : Température moyenne

D'après le Tableau 5, les températures moyennes mensuelles montrent que le mois de Janvier est le mois le plus froid, avec une valeur de **6,87°C**, alors que le mois le plus chaud est le mois de Juillet, avec un maximum moyen de **29,45°C**, pour les températures moyennes mensuelles.

4. 2.2.5.2 La pluviométrie

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres et la répartition annuelle des précipitations est importante aussi bien par son rythme que par sa valeur volumique absolue (Ramade, 1984). La pluviométrie en Algérie est sous l'influence des facteurs géographiques : l'altitude, la latitude, la longitude et l'exposition (Quézel, 1957). L'influence des précipitations est toute aussi importante que celle des températures.

Tableau 6 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en (mm) de M'sila

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	18,075	15,345	20,195	21,9	26,235	12,615	4,37	6,975	18,405	32,75	22,32	11,35	210,54
SMM													

SMM (consulté le 20/05/2019)

Le tableau de répartition des précipitations moyennes mensuelles (Tableau 6) montre que les précipitations sont irrégulières d'une façon générale. Les quantités pluviométriques mensuelles sont très variables ; le mois le plus pluvieux à la station de M'sila est le mois d'Octobre avec 32,75mm, alors que le mois de Juillet présente le mois le moins pluvieux avec une valeur de 4,37mm. Le total des précipitations annuelles enregistrées pendant la série (1988-2018) est de 210,54 mm à la station de M'sila.

4. 2.2.5.2.1 Le régime saisonnier

Le tableau ci-dessous représente le total des précipitations dans chaque saison à la station de Msila. Le régime de la station de M'sila est de type **APHE** (Automne, Printemps, Hiver, Eté), ceci signifie que l'Automne est la saison la plus arrosée avec 34,90 mm, alors que l'Eté est la saison la plus sèche avec 11,38 mm.

Tableau 7 : Le régime saisonnier de la station de M'sila

Saison	H	P	E	A	Type saisonnier
Régime saisonnier	44,76	68,33	23,96	73,48	APHE
Régime saisonnier en %	21,26	32,46	11,38	34,90	

4. 2.2.5.2.2 Synthèse bioclimatique

Un indice climatique est une combinaison d'au moins deux valeurs numériques sur l'état de l'atmosphère pour caractériser le climat d'un lieu. Donc les données météorologiques ne sont pas toujours utilisées isolément, elles peuvent être combinées entre elles de façon à faire apparaître les périodes ayant une influence (favorable ou défavorable) sur les êtres

vivants: les périodes chaudes, les périodes froides, les périodes sèches, les périodes humides. Les indices synthétiques de classification climatiques sont nombreux et divers. Dans le cadre de cette étude, notre synthèse bioclimatique est établie à partir des travaux de Bagnouls et Gaussen (1957) et Emberger (1930-1942), appliquée aux données météorologiques de la région d'étude.

4. 2.2.5.2.2.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Selon Bagnouls et Gaussen (1953), un mois est considéré comme sec si le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle, exprimée en degrés centigrade. Cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire des « Diagrammes Ombrothermique » traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.

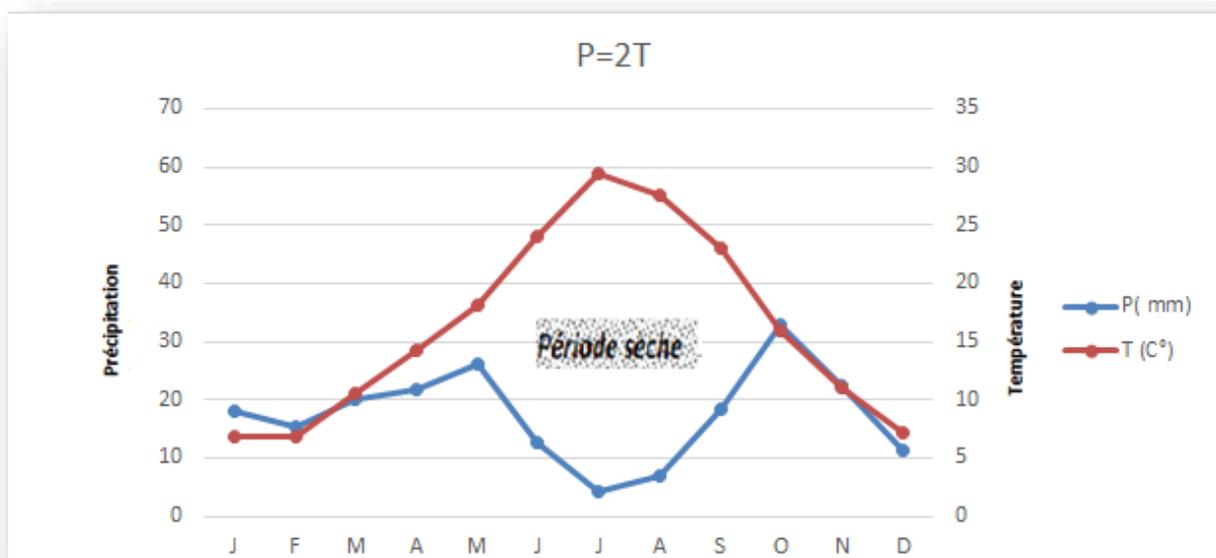


Figure 8 : Diagramme ombrothermique de la région de M'sila (1988-2018)

Graphiquement, il en ressort que la période sèche dans la région de M'sila s'étale depuis Mars jusqu'au mois de Novembre (Figure 8).

4. 2.2.5.2.2.2 Quotient pluviothermique d'Emberger

Emberger a défini les étages bioclimatiques en se basant sur les deux facteurs ; le quotient pluviométrique « Q_2 » et la température du mois le plus froid « m » (Ozenda, 1982).

La formule proposée est d'une expression :

$$Q_2 = K (1/M-m) (P/M+m)/2)$$

K : Constante=1000

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

M : Température maximale du mois le plus chaud

m : Température minimale du mois le plus froid.

NB : les températures sont exprimées en degrés en Kelvins, $T^{\circ}K=T^{\circ}C+273^{\circ}C$

Stewart (1969) a établi pour l'Algérie et le Maroc à partir d'une simplification de la formule précédente du quotient pluviométrique, l'expression suivante :

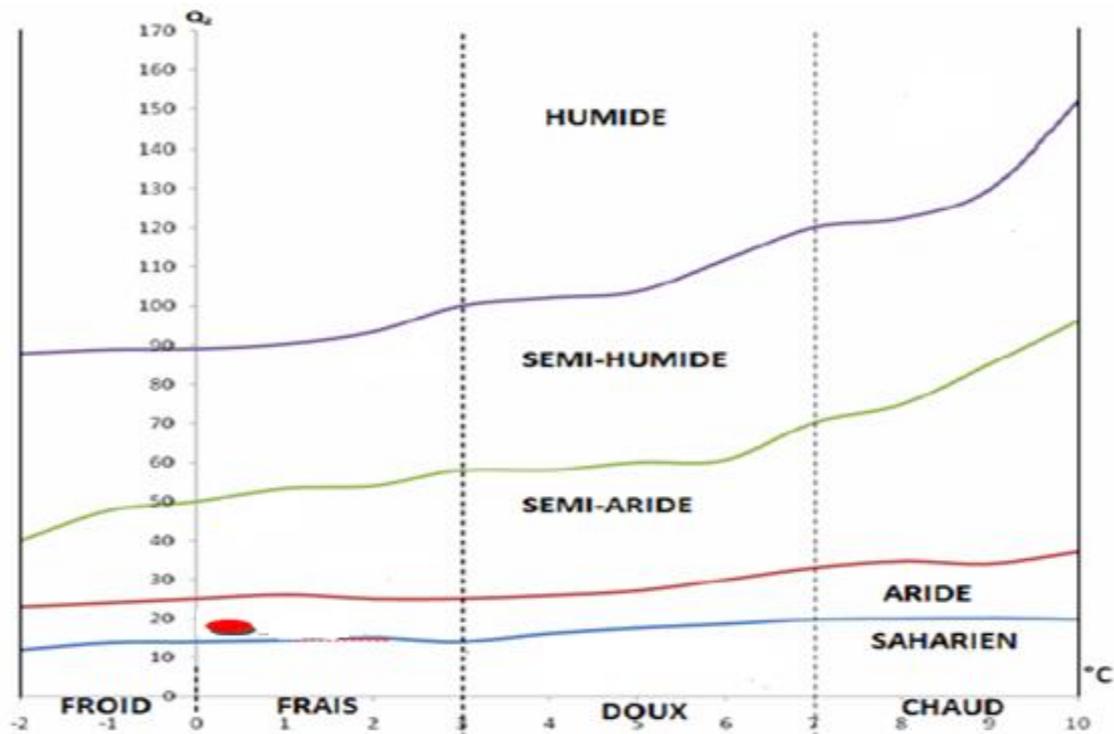
$$Q_2 = 3.43 (P/M-m)$$

La représentation graphique porte **m** sur l'axe des abscisses et **Q₂** sur celui des ordonnées. L'étage bioclimatique de la région de M'sila est motionné dans le tableau ci-dessous. 374

Tableau 8 : L'étage bioclimatique de la région de M'sila.

P (mm)	M (K°)	m (K°)	Q₂	Etage bioclimatique
210,54	310,5	273,1	19,31	aride

On constate que la région de M'sila se trouve dans l'étage bioclimatique aride à hiver frai où la saison sèche s'étale du mois de Mars au mois de Novembre de l'année.



● La station météorologique de M'sila.

Figure 9 : Le positionnement de la région de M'sila dans le climagramme d'Emberger (1942).

4. 2.2.5.3 Le vent

Le vent joue un rôle important dans le système climatique, puisqu'il intervient dans la pluviométrie et dans le déplacement des masses d'air tel que le siroco, qui affecte le développement de la vie des plantes (Dahmane et Zaidi, 2007). Les vents dominants qui soufflent dans la région de M'sila sont :

Le vent d'Ouest (W), dit « Dahraoui » qui est le plus pluvieux, il est fréquent en automne, hiver et printemps.

Le vent du Nord (N), dit « Bahri » qui est moins fréquent, il est froid et sec.

Les vents à directions variables (Var), qui soufflent surtout pendant les saisons sèches.

Le siroco, vent chaud et sec, souffle en général du sud, il entrave le développement des cultures. Il constitue la cause du faible tapis végétal dans la wilaya de M'sila par ce que les vents chauds et secs accent le dessèchement du substrat et limite l'installation de la végétation (Bahlouli et *al.*, 2012).

Les vents du Nord sont fréquents pendant l'Hiver, alors que ceux du Nord-est, bien répartis sur toute l'année accèdent facilement dans la cuvette du Hodna par la vallée de l'Oued Barika. Ceux du sud n'atteignent le Hodna qu'en été, période durant laquelle ils soufflent avec des rafales brûlantes.

Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées par la station météorologique de M'sila se trouvent dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse du vent en m/s

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vent (m/s)	3,9	4,27	4,82	4,27	4,65	4,5	3,82	3,22	3,45	3,9	3,4	3,47

SMM (consulté le 20/05/2019)

Quelles que soient leurs directions, les vents qui soufflent sur M'sila, ont des vitesses relativement faibles, qui vont de 3,22 m/s (Août) à 4,82 m/s (Mars).

4. 2.2.5.4 L'humidité

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'air (Dreux, 1980). Le tableau ci-dessous représente les moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité de la station de M'Sila.

Tableau 10 : Les moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité de la station de M'Sila.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
H(%)	70,55	67,51	62	55,495	52,495	41,23	31,49	34,95	38,96	54,67	62,93	70,52	54,06

SMM (consulté le 20/05/2019)

D'après le tableau 10, nous constatons que le mois de Décembre présente l'humidité la plus élevée (70,55%), par contre la plus faible est enregistrée pendant le mois de Juillet avec (31,49%).

4. 2.3 Facteurs biotiques de la région d'étude

4. 2.3.1 Données bibliographiques sur la végétation du bassin versant de Oued K'sob

Dans le bassin versant, la répartition du couvert végétal et le pourcentage de chaque type de couvert dépend des caractéristiques physico-géologiques et des caractéristiques climatiques qui en découlent.

Le bassin versant d'oued K'sob (Figure 10), manifeste une couverture végétale forestière (pins d'Alep) plus importante : 25% de la surface totale de bassin. Cette prédominance s'explique par la présence de reliefs montagneux importants (Djebel Maadid), qui s'accaparent une proportion importante de la surface de bassin versant, et par la réalisation de plusieurs programmes de reboisement sur ces reliefs qui entrent dans le cadre, soit de la défense et de la restauration des sols, soit de la protection du périmètre du barrage du K'sob.

Les terres de culture représentent 55%, et s'étendent essentiellement sur les plaines de Ras el Oued, Bordj Ghdir, Bordj Bou Arreridj, s'adonnant à la céréaliculture avec jachère. Les surfaces mal protégées ou nues ne représentent que 20%, car les terrains de parcours sont très limités et les conditions pédoclimatiques (pente et épaisseur des sols, précipitations et températures) sont encore favorables aux pratiques de la céréaliculture traditionnelle (Tableau 11) (Martinez *et al.*, 2011 in Benkadja *et al.*, 2013).

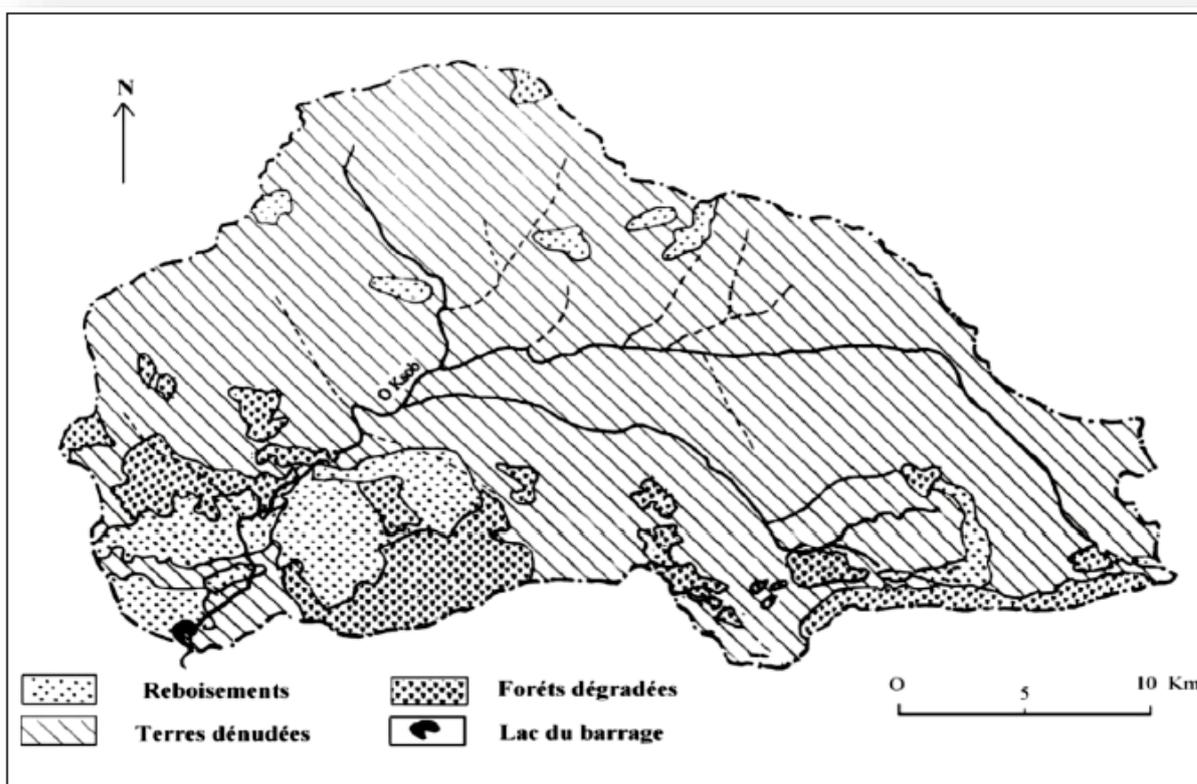


Figure 10 : Couverture végétale dans le bassin versant de Oued K'sob (Martinez *et al.*, 2011 in Benkadja *et al.*, 2013).

Tableau 11 : Répartition des types de couverture végétale (Martinez *et al.*, 2011 in Benkadja *et al.*, 2013).

Bassin versant	surfaces bien protégées	Surfaces incomplètement protégées	Surfaces mal protégées ou nues
Oued K'sob	Forets maquis	arboriculture, Alfa, céréaliculture	arboriculture, Alfa, céréaliculture
Surfaces (Km2)	364,23	801	291
%	25	55	20

4. 2.3.1 Données bibliographiques sur la faune du bassin versant de Oued K'sob

De point de vue faune, le milieu est riche et diversifié en mammifères, oiseaux (Bensaci *et al.*, 2010), des Batraciens et des poissons (Mimeche, 2014) (Annexe 2).

Chapitre 5 : Matériels et méthodes

5.1 Approches méthodologiques

Notre approche méthodologie consiste à étudier le compartiment microbiologique des sols du sous bassin versant de oued k'sob tout en faisant les analyses physico-chimiques de ces sols sous différentes altitudes et sous l'effet des variations saisonnières en passant par deux phases expérimentales :

1. Phase I : étude de la variation spatiotemporelle de la densité et la biomasse microbienne des sols du sous bassin versant de oued k'sob :
 - variation spatiale de la densité et la biomasse microbienne des sols du sous bassin versant de oued k'sob « sous différentes altitudes ».
 - variations saisonnières de la densité et la biomasse microbienne de ces sols.
2. Phase II : étude de l'effet des paramètres physicochimiques sur la biomasse microbienne et la densité des principaux groupes microbiens des sols du sous bassin versant de oued k'sob.

5.1.1 Variation spatiotemporelle de la densité et la biomasse microbienne des sols du sous bassin versant de oued k'sob

Dans cette phase nous avons évalué la densité des principaux groupes microbiens à savoir les bactéries, les champignons et les actinomycètes ainsi que la microflore totale. Nous avons estimé, également, la biomasse microbienne selon la méthode de fumigation extraction. Aussi nous avons étudié l'effet des variations altitudinales et saisonnières sur la densité des microorganismes du sol.

Echantillonnage

Une série de prélèvements du sol faisant l'objet de cette étude a été effectuée sur sept sites différents pendant les quatre saisons de l'année 2017 (février, mai, août et octobre) dans le sous bassin versant de oued k'sob.

Le choix des sites a été basé sur : l'altitude, l'accessibilité, la situation (la direction vers le nord). Les points de prélèvements sont illustrés dans la Figure 11 et le Tableau 12.

Les prélèvements des échantillons du sol sont effectués assez régulièrement et dans les mêmes conditions (endroit et matériels de prélèvements) pour apprécier le mieux possible l'évolution des paramètres microbiologiques du sol.

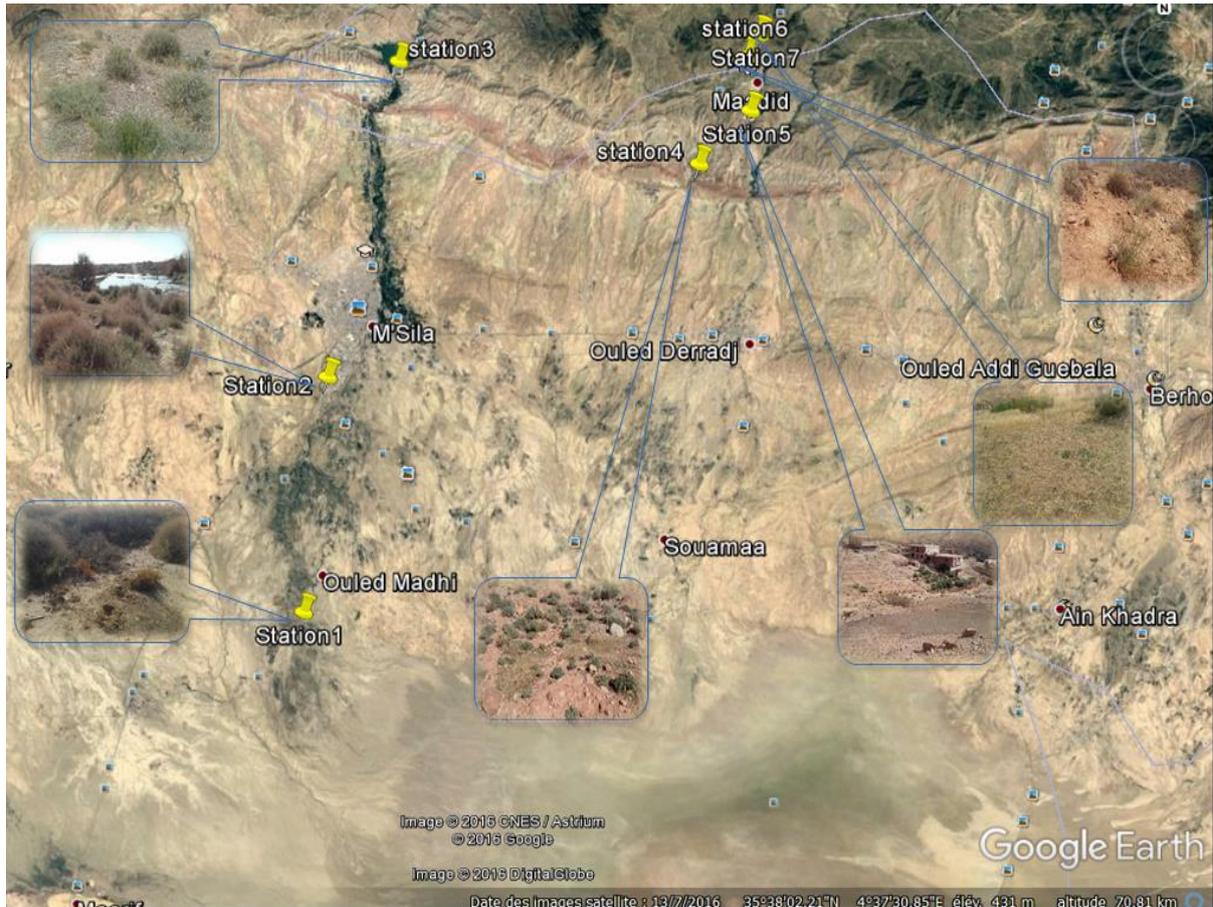


Figure 11 : Localisation des stations choisies dans le sous bassin versant de oued k'sob

Tableau 12 : Les coordonnées géographiques des points de prélèvement

Les sites	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
S1	35°33'03.0"	4° 29'31"	398
S2	35°40'11.3"	4°30'51.1"	441
S3	35°49'40.5"	4°34'07.0"	563
S4	35°46'05.2"	4°45'13.9"	682
S5	35°47'36.3"	4°47'14.3"	848
S6	35°49'13.8"	4°47'13.5"	993
S7	35°49'50.2"	4°47'39.7"	1081

L'échantillon soumis aux analyses de laboratoire est un composite de sol, réalisé en chaque station en diagonale. Des échantillons élémentaires ont été prélevés afin d'avoir un échantillon moyen représentatif de l'état microbiologique régnant dans le sol. Les échantillons élémentaires ont été mélangés pour former un échantillon moyen représentatif du site d'étude.

Pour chaque station, nous avons choisi de travailler sur la zone 0-20 cm de profondeur dans laquelle se concentre la plus grosse part de l'activité biologique des sols.

En effet, pour les analyses microbiologiques, il est nécessaire de prélever des échantillons de sol « frais ». Il convient donc de considérer l'échantillon de sol comme un milieu vivant, qui après son prélèvement a été entouré avec soins afin que les mesures microbiologiques soient aussi proches que le possible de l'état in situ. Aussitôt après le prélèvement, les sols sont placés dans des sacs en plastique fermés de façon non hermétique pour conserver un état d'aérobiose et transportés au laboratoire.

5.1.2 L'effet des paramètres physicochimiques sur la biomasse microbienne et la densité des principaux groupes microbiens des sols du sous bassin versant de oued k'sob

Cette phase a pour objectif l'étude de l'effet de la variation de 18 paramètres physicochimiques des 7 sols différents dans les quatre saisons sur la densité et la biomasse microbienne du sol du sous bassin versant de oued k'sob.

Les échantillons du sol prélevés, comme nous avons décrit auparavant, ont subi un tamisage à 2 mm destiné à retirer les corps indésirables (racines, vers de terre, etc.) et à obtenir un échantillon moyen parfaitement homogène.

Chaque échantillon moyen a été divisé en 2 parties, une partie consacrée aux analyses microbiologiques conservée au frais (à environ 4°C) jusqu'à utilisation car un stress hydrique peut perturber les mesures biologiques (Fardoux et *al.*, 2000) et l'autre partie consacrée aux analyses physico-chimiques est séchée à l'air libre à température ambiante.

Les analyses physicochimiques et microbiologiques sont réalisées au laboratoire d'eau et sol à l'université de Tiaret, au laboratoire privé DOUMI à M'sila et l'INSID.

5.2 Méthodes d'analyses

5.2.1 Les analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont porté sur la biomasse microbienne (matière organique vivante : M.O.V) et le dénombrement indirecte des populations microbiennes.

5. 2.1.1 Estimation de la biomasse microbienne

Les méthodes d'évaluations de la biomasse microbienne sont multiple (Chaussod et Nicolardot, 1982; Martens, 1995) les plus couramment utilisées font intervenir un agent biocidal (le chloroforme).

(Jenkinson et Powlson, 1976) ont défini expérimentalement la biomasse microbienne par la méthode biocidale qui consiste à mesurer le carbone (ou l'azote) contenu dans les êtres vivants du sol. La technique la plus utilisée est la fumigation-extraction (Wu et *al.*, 1990).

Cette technique permet une évaluation rapide facilement reproductible et peu coûteuse, du carbone microbien, lequel est ensuite converti en quantité de biomasse (Pelletier, 1992). Elle présente l'avantage d'être universelle (applicable à tous les types du sol).

Dans cette technique, les échantillons du sol sont divisés en deux lots de 15 g (équivalent sol sec) : un lot témoin et un lot fumigé. L'échantillon fumigé est traité par des vapeurs de chloroforme (CHCl_3) à température ambiante, pendant 72 heures dans un dessiccateur et le carbone organique soluble est extrait par agitation pendant 30 min dans 50 ml d'une solution de K_2SO_4 (0,05 N) le carbone est dosé par la méthode Anne.

L'échantillon non fumigé subit le même traitement ; La différence de carbone organique soluble entre les échantillons fumigés et non fumigés correspond à la quantité de carbone extractible d'origine microbienne. Cette quantité est directement proportionnelle à la biomasse microbienne (mg C/kg) : C extractible / 0,38.

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

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

Les résultats des mesures de biomasse microbienne sont donnés en mg C/kg sol sec. Il est intéressant de les exprimer aussi en pourcentage du carbone total (Chaussod *al.*, 1986; Sparling et *al.*, 1992).

5. 2.1.2 Les dénombrements indirects

Parmi les méthodes de dénombrement indirectes, la méthode la plus utilisée est la méthode standard de culture sur boîte de pétri.

Le principe de la méthode indirecte s'appuie sur des cultures en milieu liquide ou solide après ensemencement avec des suspensions dilutions du sol. 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 (Janvier *et al.*, 2007). Elle comprend plusieurs étapes allant de la préparation des suspension- dilutions jusqu'à l'interprétation des résultats.

Préparation des suspensions-dilutions

La préparation des suspensions-dilutions consiste à peser 1 gramme de sol préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans un tube en verre contenant 9 ml d'eau physiologique stérile agiter vigoureusement au vortex, la dilution 10^{-1} est ainsi réalisée, 1 ml de la suspension est transféré dans 9 ml d'eau physiologique stérile (c'est la suspension dilution 10^{-2}). Agiter vigoureusement et recommencer l'opération jusqu'à la dilution 10^{-9} les suspensions dilutions doivent être utilisées aussitôt après leur préparation (Annexe 6).

La valeur analysée dépend en grande partie, du soin apporté et à la condition de stérilisation.

Le comptage sur boîtes

La méthode de dénombrement des flores totales bactériennes et fongiques sur milieu gélosé peu spécifique après mise en suspension et dilution du sol est utilisée depuis de très nombreuses années (Winogradski, 1949). Elle est biaisée, en ce qu'elle ne prend en compte que la part facilement cultivable des microorganismes du sol, qui ne représente que 0.1 à 1% de la microflore totale (Torsvik *et al.*, 1990). De plus, au sein de cette microflore cultivable, les espèces à croissance rapide et dont la température optimale de croissance se situe autour de 25°C sont favorisées. Cette méthode permet toujours d'obtenir des résultats reproductibles et fiables, donnant une information globale sur les densités de champignons et de bactéries dans les sols.

100 μl de chaque dilution sont étalées sur des boîtes de Pétri contenant un milieu de culture gélosé: PDA (pour les champignons) (Saravanakumar *et al.*, 2016), starch casein agar medium (SCA) (pour les actinomycètes) (Saravanakumar *et al.*, 2016) et GN (pour les bactéries) (Pochon, 1954) (Annexe 6), nous avons préparé 3 boîtes par dilution.

La répartition de la suspension-dilution sur le milieu solide est réalisée par la pipette pasteur (forme de râteau). Les boîtes sont retournées après l'absorption de la suspension par le milieu et mises à incuber à 28°C et les colonies dénombrées après 5 jours pour les champignons, 7 jours pour les actinomycètes (Radjab *et al.*, 1992) et 2 jours pour les bactéries (Pochon, 1954).

5. 2.2 Les analyses physicochimiques

5.2.2.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique du sol ou encore appelée analyse mécanique, ou analyse physique a pour but de quantifier pondéralement les particules et définir la texture des sols (Aubert, 1978), donc elle consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (sable, limon, argile). On utilise pour cette analyse de la terre fine obtenue par tamisage au tamis à mailles 2mm, on élimine la matière organique par un oxydant énergétique (H_2O_2), la durée d'exposition dépend de la teneur en matière organique (24h à 48h). Les particules minérales sont ensuite dispersées à l'aide d'un dispersant alcalin (hexametaphosphate de sodium).

Les particules grossières de diamètre supérieur à 50 μm sont séparées par tamisage, les particules moyennes et fine sont obtenues par la mesure de la vitesse de sédimentation. Le fractionnement de ces particules se fait par l'intermédiaire de la pipette de Robinson (Aubert, 1978). D'après le triangle des textures qui permet de classer les sols d'après leur composition granulométrique on définit la texture de notre sol.

5.2.2.2. La densité apparente

La densité apparente du sol (c.-à-d. masse de sol sec par unité de volume) a été déterminée grâce à la méthode du cylindre.

Les échantillons pour la densité apparente ont été pesés (gramme) à l'état sec. Le rapport entre le poids de l'échantillon sec (g) et le volume du cylindre (cm^3) déterminait ainsi la densité apparente de l'horizon de surface pour chacun des sites (Blake et Hartge, 1986).

5.2.2.3. La porosité

La porosité représente le volume de l'ensemble des pores du sol occupés par l'eau ou l'air, exprimé en pourcents du volume total (matière solide + pores). Sa mesure peut fournir une idée assez juste de la structure du sol (Chretien *et al.*, 1987).

La porosité totale est généralement calculée à partir de la densité apparente et de la densité réelle du sol. En générale, la densité réelle est proche de celle de la silice en moyenne elle vaut 2,6.

La formule pour le calcul de la porosité est la suivante :

$$P\% = (d_r - d_a) \times 100 / d_r$$

Avec :

d_a = densité apparente

d_r = densité réelle

5.2.2.4. L'humidité

Nous avons procédé à la détermination de la teneur pondérale en eau du sol par la méthode gravimétrique. L'échantillon de sol est pesé une première fois (P1), puis le sol est séché à l'étuve à une température de 105°C pendant 24h, par la suite il est pesé une deuxième fois (P2) (Hesse et Hesse, 1971) .

Le taux d'humidité s'exprime en % selon la formule suivante :

$$H\% = (P1 - P2) \times 100 / P2$$

P1 : le poids du sol humide.

P2 : le poids du sol séché.

5.2.2.5. Mesure du pH

Le pH est déterminé par méthode électro métrique par la mesure du pH d'une suspension de sol dans l'eau à 2/5 (rapport masse/volume) après une agitation puis décantation à l'aide d'un pH mètre de type (HANNA) (Baize, 2000).

5.2.2.6. Mesure de la conductivité électrique (C.E)

Le principe consiste à déterminer la conductivité électrique (C.E) de l'eau pour déterminer la salinité de l'extrait du sol. La conductivité électrique exprimée en (mS/cm) a été mesurée sur un extrait du sol dilué au 1/5 (rapport masse/volume) à une température de référence égale à 25°C (Aubert, 1978). Elle a été déterminée par un conductimètre de type

(HANNA). La détermination du degré de la salinité d'un sol est faite à l'aide de l'échelle de salure des sols.

5.2.2.7. Le calcaire total

La quantité de carbonate de calcium dans le sol indique un des propriétés les plus importantes du sol. Elle est déterminée par calcimétrie, à l'aide du calcimètre de Bernard (Baize, 1988). Dans cette méthode, elle est déterminée volumétriquement en utilisant la propriété du carbonate de calcium qui se décompose sous l'action d'un acide (HCl) en eau et gaz carbonique, ce dernier est recueilli dans un tube gradué en ml.

$$\text{CaCO}_3\% = (p \times V) 100 / (P \times v)$$

p : poids du CaCO_3 pure utilisé pour l'étalonnage.

V : volume du gaz carbonique dégagé par l'échantillon du sol.

P : poids de l'échantillon du sol.

v : volume de gaz carbonique dégagé par le CaCO_3 .

5.2.2.8. Dosage du calcaire actif

Le calcaire actif est déterminé par la méthode Drouineau-Galet, 1956. Pour le dosage du calcaire actif, on utilise la propriété du calcium se combinant aux oxalates d'ammonium pour donner de l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de solution d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique (Mathieu et *al.*, 2003).



La teneur en calcaire actif exprimée en % est obtenue à partir de la formule suivante :

$$\text{Calcaire actif \%} = (N-n) \times 1.25$$

N-n: correspond à la quantité d'oxalate de calcium précipité, donc à la quantité d'oxalate d'ammonium qui a réagi avec le calcaire actif.

N : nombre de ml KMnO_4 utilisés pour titrer la solution d'oxalate d'ammonium.

n : nombre de ml KMnO_4 utilisés pour titrer l'extrait du sol.

5.2.2.9. Le carbone organique (CO) et matière organique (MO)

Le carbone organique est déterminé par la méthode (Anne, 1945). Il est oxydé par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique (H₂SO₄). On admet que l'oxygène consommé est proportionnel au carbone que l'on veut doser. L'excès de bichromate inutilisé dans la réaction est dosé par le sel de mohr.

La teneur en matière organique totale du sol s'obtient en multipliant celui du carbone par 1.724.

$$\text{MO (\%)} = \text{C (\%)} \times 1.724$$

5.2.2.10. Le dosage de l'azote total (N)

La teneur en azote est déterminée par la méthode de KJELDAHL (Qiu et *al.*, 2010). L'azote des composés organiques est converti en sulfate d'ammonium ; sous l'action de l'acide sulfurique concentré ; et l'ammonium est distillé dans l'acide borique et titré avec du HCL en utilisant l'indicateur approprié.

Après dosage du carbone et de l'azote, on peut calculer le rapport C/N, qui indique le degré de l'évolution de la matière organique (Baize, 2000).

5.2.2.11. Rapport C/N du sol

L'étude de l'évolution du rapport C/N a nécessité la détermination de la teneur en carbone organique (Corg) et en azote organique total (Nt). Le dosage du carbone organique du sol (Corg %) a été réalisé par la méthode Anne (1945). Quant à l'azote total, il a été dosé par la méthode Kjeldahl.

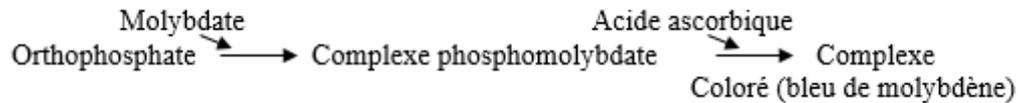
5.2.2.12. La capacité d'échange cationique (CEC)

Pour déterminer la capacité d'échange cationique (meq/100g), en particulier dans les sols alcalins et calcaires, on sature le sol avec une solution d'acétate de sodium normal à pH = 8,2.

Après saturation par l'ion Na⁺, l'excès d'acétate est éliminé par lavage à l'éthanol. Les ions Na⁺ échangeables sont ensuite extraits par une solution d'acétate d'ammonium NH₄⁺ à pH 7 et dosés par photométrie de flamme (Polemio et Rhoades, 1977).

5.2.2.13. Dosage du phosphore assimilable (P)

L'extraction et le dosage du phosphore assimilable ont été réalisés par la méthode (Joret et Hébert, 1955), qui utilise une solution d'oxalate d'ammonium avec une agitation pendant 2 heures et nécessite une mise en œuvre d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché selon le schéma suivant:



Le dosage s'effectue à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 890 nm. L'intensité de la coloration sera proportionnelle à la concentration en phosphore (Baize, 1988).

5.2.2.14. Bilan ionique

- **Dosage des anions**

Effectué sur des extraits du rapport 1/5, il consiste à analyser :

Les chlorures (Cl^-)

La teneur en chlorure est déterminée par la méthode argentométrique de Mohr, par la précipitation des ions Cl^- sous forme d' AgCl en présence d' AgNO_3 .

Les carbonates (CO_3^-) et les bicarbonates (HCO_3^-)

Ils sont déterminés par titrimétrie à l'acide sulfurique ; les carbonates sont dosés en présence de phénophtaléine, les bicarbonates sont titrés de la même façon en présence de méthylorange (Mathieu et *al.*, 2003).

- **Dosage des cations**

Sodium (Na^+), potassium (K^+) et le calcium (Ca^{2+})

Ils sont analysés par le spectrophotométrie à flamme (Richards, 1954).

5. 2.3 Analyse statistique

Les différentes propriétés du sol (texture, pH, densité apparente, M.O., azote....) et la biomasse microbienne du sol ont d'abord été analysées avec des analyses statistiques standards

(moyenne, Erreur-type), afin d'évaluer les principales caractéristiques de la population échantillonnée.

Les données obtenues ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur pour étudier l'effet de chaque paramètre abiotique (l'altitude, les saisons et les paramètres physico-chimiques du sol mesurés) sur la flore microbienne des sols du sous bassin versant de oued k'sob. Si un effet statistique est mis en évidence ($p < 0.05$), des tests post hoc (le test de Tukey ou le test de Games-Howell) ont été déterminé pour identifier les sous-groupes homogènes de moyennes qui ne diffèrent pas les uns des autres. Des analyses de corrélation (test de Pearson) entre les différents paramètres ont également été effectuées.

Le logiciel SPSS (version 25) a été utilisé pour réaliser l'ensemble des tests statistiques, avec un niveau de significativité de 95%, et des analyses de données.

Troisième partie : Résultats et discussion

*Chapitre 6 : Les variations de la densité et la
biomasse microbienne des sols selon les saisons
et l'altitude*

Le sol est constamment soumis à plusieurs perturbations susceptibles d'influencer l'ensemble de sa dynamique. L'effet saisonnier sur la communauté microbienne du sol a souvent été rapporté dans la littérature. Les études précédentes ont souvent indiqué qu'il y a une variabilité saisonnière des communautés microbiennes (Bossio et *al.*, 1998; Dunfield et Germida, 2003; Smalla et *al.*, 2001). Cependant, il y a un peu d'information sur l'impact de l'altitude sur les micro-organismes du sol. Quelques études ont indiqué qu'il y a une variation de la structure de la communauté microbienne et un changement de l'activité microbienne avec l'altitude (Bossio et *al.*, 1998; Margesin et *al.*, 2008).

Dans ce qui va suivre, nous retiendrons les variations des communautés microbiennes liées à la variabilité saisonnière et à l'altitude.

6.1 Effet de la variation de l'altitude et la variation saisonnière sur la densité et la biomasse microbienne

6.1.1 La biomasse microbienne

La biomasse microbienne tellurique constitue le premier nœud de la chaîne alimentaire dans le sol et la production primaire des écosystèmes terrestres est sous la dépendance de l'activité de ce compartiment (Hussain et *al.*, 2009; Kaschuk et *al.*, 2010).

(Herrmann et Witter, 2002; Müller et *al.*, 2002) ont montré que 65% du carbone était d'origine microbienne.

La variation spatiotemporelle du carbone de la biomasse microbienne du sol du sous bassin versant de oued K'sob a été estimée par le suivi de l'évolution de cette fraction dans sept différentes altitudes durant les quatre saisons de l'année 2017 (Figure 12).

L'allure générale du graphe montre que le niveau du carbone de la biomasse microbienne subit des variations dans les différentes stations et durant les quatre saisons.

Les résultats obtenus pour la biomasse microbienne, sont comprises entre 4,73 (mg/kg) S1 et 79 (mg/kg) S2 en hiver, 246 (mg/kg) S4 et 383 (mg/kg) S2 au printemps, 32 (mg/kg) S3 et 116 (mg/kg) S7 en été et 15 (mg/kg) S3 et 114 (mg/kg) S5 en automne.

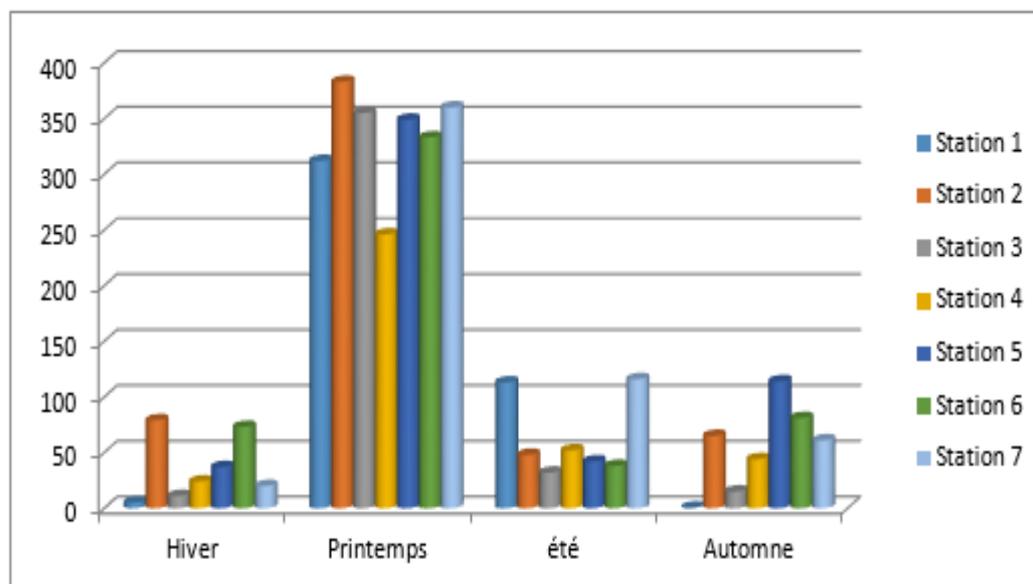


Figure 12 : Représentation graphique de la variabilité spatiotemporelle de la biomasse microbienne (mg C/kg) des sols.

La variation saisonnière du carbone de la biomasse microbienne se caractérise par la présence d'un pic à fort niveau de production de carbone de la biomasse microbienne durant la saison du printemps, la même remarque a été observée par (Niane-Badianea *et al.*, 1999).

De nombreuses études ont indiqué que la biomasse microbienne du sol est élevée au printemps et en automne, mais faible en été et en hiver (Sarathchandra *et al.*, 1984; Luizao *et al.*, 1992).

D'après les résultats de l'analyse de la variance, nous avons trouvé que les variations saisonnières ont un effet très hautement significatif sur la biomasse microbienne alors que l'altitude n'en a pas (Tableaux 13, 14). (Chang *et al.*, 2016) ont trouvé que la biomasse microbienne du sol a augmenté le long du gradient d'élévation.

Tableau 13 : Analyse de la variance pour la variable biomasse microbienne du sol à différentes altitudes

		Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Biomasse microbienne		29720,77	6	4953,46	0,28	0,943
	Erreur	1342136,213	77	17430,34		

Tableau 14 : Analyse de la variance pour la variable biomasse microbienne du sol pour différentes saisons

		Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Biomasse		1257957,84	3	419319,28	294,52	0,000
microbienne	Erreur	113899,137	80	1423,74		

Le test de Tukey /Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (Tableau 15), a montré l'existence de deux groupes à savoir le groupe A qui regroupe les trois saisons hiver, été et automne et le groupe B regroupe la saison du printemps.

Tableau 15 : Test de Tukey/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable saison avec la biomasse microbienne)

Sous- ensemble pour alpha=0,05	
Hiver	41,6667
Automne	51,4967
Eté	63,0476
Printemps	334,14

Il devient évident que la succession des saisons exerce un effet très important sur la microflore des sols grâce à essentiellement les variations des deux facteurs en l'occurrence la température et d'humidité du sol qui contrôlent directement les fluctuations temporelles de la biomasse et l'activité microbienne dans certains écosystèmes (Wardle, 1992; Corre et *al.*, 2002; Bergeron, 2007; Bell et *al.*, 2008). En effet, (Insam, 1990) a déterminé une corrélation positive entre le rapport (pluviométrie/évaporation) et l'évolution du stock de la biomasse microbienne tandis que les résultats de l'analyse statistique révèlent que les variations saisonnières n'ont pas une corrélation avec la biomasse microbienne des sols de notre région d'étude (Annexe 7).

6.1.2 La microflore totale

La microflore totale analysée dans les sept sols est composée de bactéries, de champignons et d'actinomycètes.

L'examen du graphe illustré dans la figure (Figure 13), montre que le nombre le plus élevé de la microflore du sol a été enregistrée dans la station 1 ($6,34 \pm 3,3110^{12}$ UFC/g) et la valeur la plus basse a été enregistrée dans la station 2 ($0,02 \pm 0,00910^{12}$ UFC/g). On constate que les valeurs de la microflore totale sont variables d'un point à un autre.

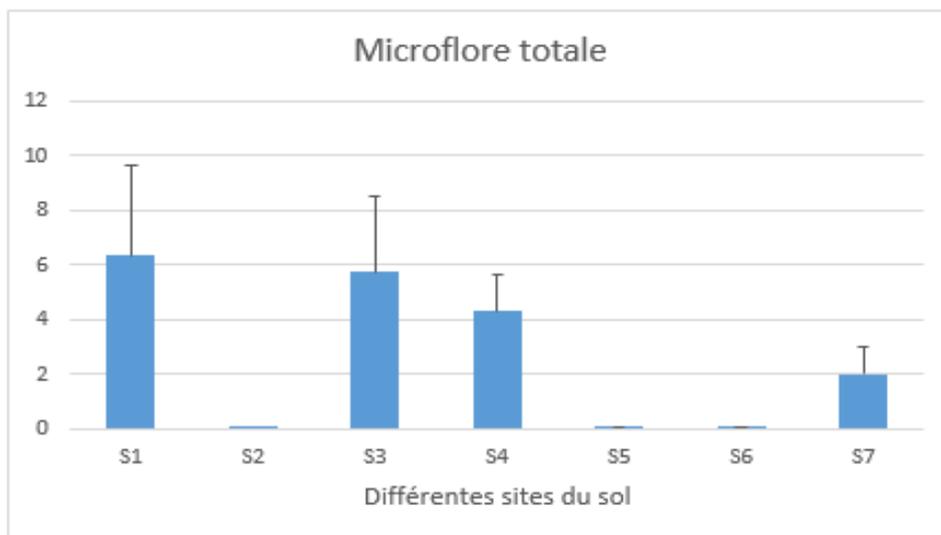


Figure 13 : Représentation graphique de la variabilité spatiale de la microflore totale (10^{12} UFC/g) des sols.

La variabilité de la densité de la microflore totale au cours du temps montre que le nombre des micro-organismes est légèrement supérieur au printemps. D'après nos résultats nous remarquons que la densité de la microflore totale varie entre $2,11 \times 10^6$ UFC/g S7 et $7312500,08 \times 10^6$ UFC/g S4 en hiver ; $73000,48 \times 10^6$ UFC/g S2 et $3090000047,08 \times 10^6$ UFC/g S7 au printemps ; $0,061 \times 10^6$ UFC/g S2 et $0,87 \times 10^6$ UFC/g S1 en été et $0,01 \times 10^6$ UFC/g S4 et $1,66 \times 10^6$ UFC/g S3 en automne. Contrairement à ce qu'on pouvait croire que les processus biologiques du sol ralentissaient pendant la période de l'hiver et ne reprenaient qu'une fois lorsque le printemps arrive (Allaire et Dagesse, 2010). selon (Allaire et Dagesse, 2010) l'activité biologique du sol est inhibée par les conditions hivernales. Alors que les travaux de (Clark *et al.*, 2009) ont d'autre part montré que les microorganismes pouvaient être exister et évoluer et dans un sol à des températures basses ce qui est démontré par les résultats ci-dessus.

Il est évident qu'une population microbienne ne peut s'adapter spontanément à un changement majeur auprès de son environnement. Cependant, ce qui concerne la flore microbienne une exposition répétée aux conditions climatiques hivernales lui a permis de s'y adapter et d'y maintenir des activités durant la saison froide (Allaire et Dagesse, 2010). Les populations microbiennes sont souvent adapter progressivement à ces conditions ce qui interprète d'obtenir les résultats figurantes ci-dessus.

D'après (Sabaté *et al.*, 2002), la faible disponibilité en eau et les températures élevées en été sont considérées comme des facteurs limitants affectant les activités biologiques des sols

dans les écosystèmes méditerranéens. Cependant une forte corrélation positive entre la respiration du sol et la température a été mise en évidence et quantifiée dans certains travaux (Kätterer et *al.*, 1998; Knorr et *al.*, 2005).

Tableau 16 : Analyse de la variance pour la variable microflore totale du sol à différentes altitudes

		Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Microflore		5,3 10 ²⁶	6	8,84 10 ²⁵	2,4	0,035
totale	Erreur	2,83 10 ²⁷	77	3,68 10 ²⁵		

Tableau 17 : Analyse de la variance pour la variable microflore totale du sol pour différentes saisons

		Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Microflore		1,27 10 ²⁷	3	4,22 10 ²⁶	16,14	0,000
totale	Erreur	2,09 10 ²⁷	80	2,62 10 ²⁵		

L'effet saisonnier sur la communauté microbienne du sol a souvent été rapporté dans la littérature (Dunfield et Germida, 2003; Hamel et *al.*, 2006; Houlden et *al.*, 2008). (Rui et *al.*, 2009) ont montré un effet important de différentes températures (15, 30 et 45°C) sur les dynamiques de la population microbienne.

D'après les résultats de l'analyse de la variance, on remarque la présence d'un effet très hautement significatif de la variation saisonnière sur la microflore totale du sol (Tableau 17) et un effet significatif de l'altitude sur la microflore totale (Tableau 16).

Le test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (Tableau 18), a montré l'existence d'une différence significative de ($\leq 0,05$) entre la saison du printemps et les autres saisons avec une moyenne de 8,216 10¹² (UFC/g) pour l'hiver, 9,26 10¹² (UFC/g) pour l'été et 9,26 10¹²(UFC/g) pour l'automne.

Tableau 18 : Test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable saison avec la microflore totale)

(I) Saison	(J) Saison	Différence moyenne (I-J)	Sig.
1	2	-8,216 1012*	0,006
	3	1,047 1012	0,291
	4	1,047 1012	0,291
2	1	8,216 1012*	0,006
	3	9,26 1012 *	0,002
	4	9,26 1012*	0,002
3	1	-1,047 1012	0,291
	2	-9,26 1012*	0,002
	4	-194515,54714	0,615
4	1	-1,0467 1012	0,291
	2	-9,26 1012*	0,002
	3	194515,54714	0,615

Saison : 1 Hiver, 2 printemps, 3 été, 4 Automne.

Le résultat de l'analyse de corrélation révèle que la microflore totale présente une corrélation négative significative avec les variations saisonnières (Tableau 19).

Tableau 19 : Corrélation entre les variations saisonnières et la microflore totale des sols

Microflore totale	
Corrélation de Pearson	-0,219*

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

6.1.3 Densité bactérienne

Les résultats du dénombrement microbien montrent que la densité des bactéries mésophiles varie entre $0,11 \times 10^6$ UFC/g S7 et 7312500×10^6 UFC/g S4 en hiver ; 73000×10^6 UFC/g S2 et 114000000×10^6 UFC/g S3 au printemps ; $0,038 \times 10^6$ UFC/g S6 et $0,810 \times 10^6$ UFC/g S1 en été et $0,00020 \times 10^6$ UFC/g S4 et $0,55 \times 10^6$ UFC/g S1 en automne. Cette observation montre qu'il existe une variation de la densité bactérienne entre les saisons mais aussi entre les différentes altitudes. Ainsi elle montre une supériorité numérique de la densité bactérienne au printemps par rapport aux autres saisons.

Les résultats du graphique laissent apparaître une variation de la densité bactérienne entre $(0,02 \pm 0,009 \cdot 10^{12} \text{ UFC/g})$ dans la station 2 et $(6,34 \pm 3,31 \cdot 10^{12} \text{ UFC/g})$ dans la première station 1 (Figure 14).

Le dénombrement des germes montre que les bactéries sont les microorganismes les plus abondants dans les différents sols. En effet les bactéries constituent l'essentiel de la microflore du sol et sont extrêmement nombreuses (Gans *et al.*, 2005). D'après (Dommergues et Mangenot, 1970), les densités bactériennes dans les sols soumis à des conditions écologiques dures (régions arides et régions polaires), sont faibles mais elles ne tombent rarement au-dessous de $10^4 - 10^5$ germes /g de sol sec dans les horizons superficiels, cela est confirmé par nos résultats.

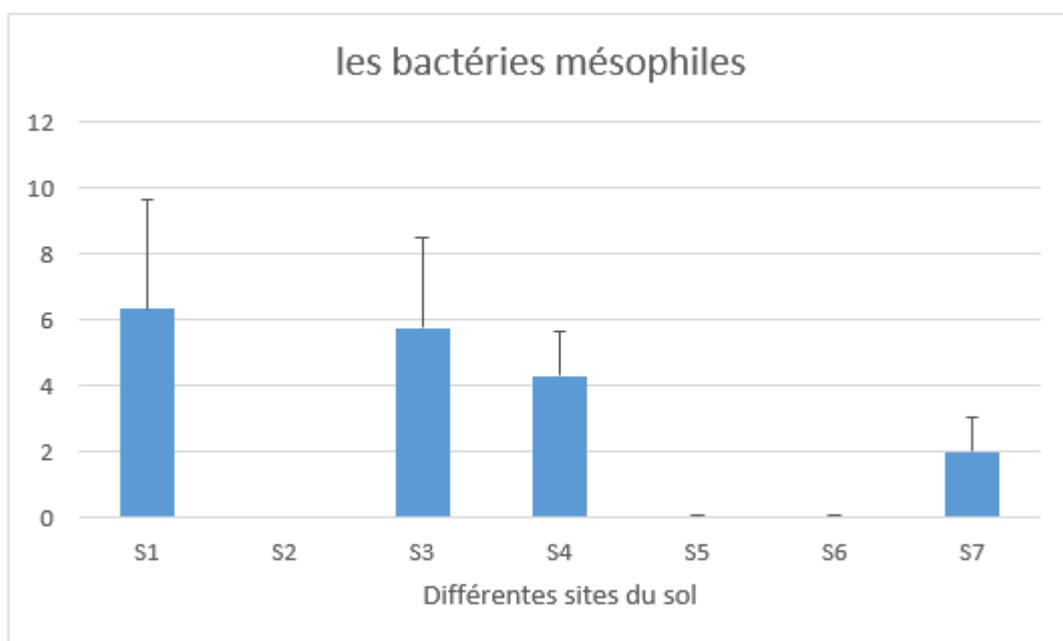


Figure 14 : Représentation graphique de la variabilité spatiale des bactéries mésophiles 10^{12} (UFC/g) des sols.

Plusieurs facteurs influencent la croissance et l'activité des populations bactériennes dans le sol (Jensen et Nybroe, 1999; Smalla *et al.*, 2001). Il s'agit essentiellement de la température et de l'humidité (Josephson *et al.*, 2000).

Tableau 20 : Analyse de la variance pour la variable microflore totale du sol pour différentes saisons

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries		1,27 10 ²⁷	3	4,22 10 ²⁶	16,14	0,000
mésophiles	Erreur	2,097 10 ²⁷	80	2,62 10 ²⁵		

Tableau 21 : Corrélation entre les variations saisonnières et les bactéries mésophiles des sols

	Bactéries mésophiles
Corrélation de Pearson	-0,219*

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Les variations saisonnières ont un effet significatif sur la microflore bactérienne (Tableau 20). D'après la corrélation de Pearson les variations saisonnières présentent une corrélation significative négative avec la microflore bactérienne (Tableau 21).

Le test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (Tableau 22), a montré l'existence d'une différence significative de ($\leq 0,05$) entre la saison du printemps et les autres saisons avec une moyenne de 8,216 10¹² (UFC/g) pour l'hiver, 9,26 10¹² (UFC/g) pour l'été et 9,26 10¹² (UFC/g) pour l'automne.

Tableau 22 : Test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable saison avec les bactéries mésophiles)

(I) Saison	(J) Saison	Différence moyenne (I-J)	Sig.
1	2	-8,216 10 ¹² *	0,006
	3	1,047 10 ¹²	0,291
	4	1,047 10 ¹²	0,291
2	1	8,216 10 ¹² *	0,006
	3	9,26 10 ¹² *	0,002
	4	9,26 10 ¹² *	0,002
3	1	-1,047 10 ¹²	0,291
	2	-9,26 10 ¹² *	0,002
	4	-194515,54714	0,615
4	1	-1,0467 10 ¹²	0,291
	2	-9,26 10 ¹² *	0,002
	3	194515,54714	0,615

Saison : 1 Hiver, 2 printemps, 3 été, 4 Automne.

(Bauzon et *al.*, 1974) ont constaté pour les numérations bactériennes, une grande variation saisonnière. D'après (Rui et *al.*, 2009), La température a un effet important sur la dynamique des populations bactériennes.

Cependant, (Bouchenafa et *al.*, 2014) ont constaté que la flore bactérienne ne présente pas de variations saisonnières significatives.

L'analyse de la variance montre un effet significatif de l'altitude sur la densité bactérienne (Tableau 23). Par contre il ne présente aucune corrélation avec la microflore bactérienne (Annexe 7). Quelques études récentes ont indiqué que les bactéries du sol étaient sensibles aux changements environnementaux et les variations altitudinales (Yuan et *al.*, 2014; Liu et *al.*, 2014; Wang et *al.*, 2015; Yang et *al.*, 2017).

Tableau 23 : Analyse de la variance pour la variable bactéries mésophiles du sol à différentes altitudes

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries		5,30 10 ²⁶	6	8,84 10 ²⁵	2,4	0,035
mésophiles	Erreur	2,83 10 ²⁷	77	3,68 10 ²⁵		

6.1.4 Actinomycètes

Les résultats, qui sont représenté dans la figure 15, laissent apparaître une variation spatiale des actinomycètes entre (1,68 ± 0,3 10⁵ UFC/g) S3 et (18,62 10⁵ ± 9,28 10⁵ UFC/g) S7.

Le nombre de ces microorganismes atteint d'après (Goodfellow et Williams, 1983) généralement les 10⁶ germes par gramme de sol séché.

En ce qui concerne les valeurs relatives à la densité des actinomycètes dans les sept différentes altitudes et durant les quatre saisons, nous avons enregistré une variation entre : 0,726×10⁵ UFC/g S4 et 7,43×10⁵ UFC/g S1 en hiver, 0,919×10⁵ UFC/g S1 et 38,45×10⁵ UFC/g S6 au printemps, 0,009×10⁵ UFC/g S5 et 2,43×10⁵ UFC/g S3 en été, 0,039×10⁵ UFC/g S7 et 7,83×10⁵ UFC/g S1 en automne. Cette observation montre une supériorité numérique de la densité des actinomycètes au printemps par rapport aux autres saisons. Les actinomycètes, relativement favorisés dans les sols secs (Bisset et Lewis, 1962), et, sont souvent capables de maintenir leurs activités à des températures élevées.

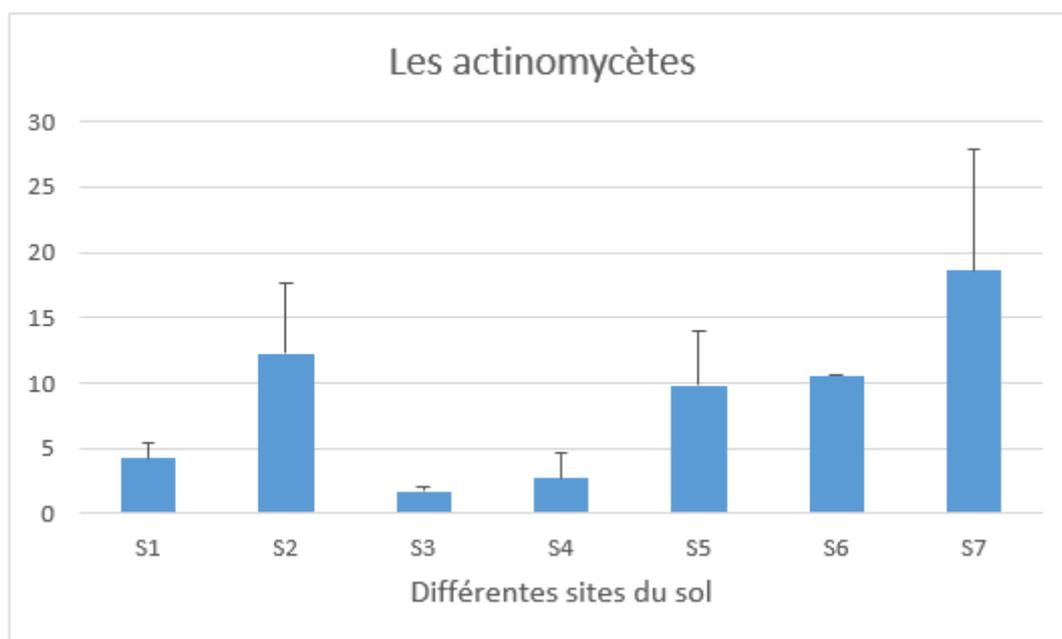


Figure 15 : Représentation graphique de la variabilité spatiale des actinomycètes 10^5 (UFC/g) des sols.

D'après les résultats de l'analyse de la variance, on remarque la présence d'un effet très hautement significatif de la variation saisonnière sur les actinomycètes (Tableau 24).

Tableau 24 : Analyse de la variance pour la variable actinomycètes du sol pour différentes saisons

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Actinomycètes	$6,76 \cdot 10^{13}$	3	$2,25 \cdot 10^{13}$	10,56	0,000
Erreur	$1,71 \cdot 10^{14}$	80	$2,13 \cdot 10^{12}$		

Le test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95%, a montré l'existence d'une différence significative de ($\leq 0,05$) entre la saison du printemps et les saisons de l'été et l'automne avec une moyenne de 2241822,28 (UFC/g) et 2147851,19 (UFC/g) respectivement (Tableau 25).

Tableau 25 : Test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable saison avec les actinomycètes)

(I) Saison	(J) Saison	Différence moyenne (I-J)	Sig.
1	2	-1383704,67857	0,151
	3	858117,60000	0,057
	4	764146,514	0,108
2	1	1383704,678571	0,151
	3	2241822,28*	0,003
	4	2147851,19*	0,005
3	1	-858117,6	0,057
	2	-2241822,28*	0,003
	4	-93971,085714	0,449
4	1	-764146,514	0,108
	2	-2147851,19*	0,005
	3	93971,085714	0,449

Saison : 1 Hiver, 2 printemps, 3 été, 4 Automne.

Tableau 26 : Corrélation entre les variations saisonnières et les actinomycètes des sols

Actinomycètes	
Corrélation de Pearson	-0,301**

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Tableau 27 : Analyse de la variance pour la variable actinomycètes du sol à différentes altitudes

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Actinomycètes	2,66 10 ¹³	6	4,43 10 ¹²	1,61	0,155
Erreur	2,12 10 ¹⁴	77	2,75 10 ¹²		

Les actinomycètes ont une corrélation négative hautement significative avec les variations saisonnières (Tableau 26), alors qu'elles ne présentent aucune corrélation avec l'altitude (Annexe 7).

6.1.5 Densité fongique

Pour la microflore fongique, on remarque que les valeurs de la densité fongique varient entre : $0,300 \times 10^4$ UFC/g S6 et $180,6 \times 10^4$ UFC/g S7 en hiver, $0,145 \times 10^4$ UFC/g S1 $7,90 \times 10^4$ S7 au printemps ; $0,015 \times 10^4$ UFC/g S1 et $0,242 \times 10^4$ UFC/g S6 en été et $0,0014 \times 10^4$ UFC/g S6 $3,97 \times 10^4$ UFC/g S1 en automne.

L'examen du graphe illustré dans la figure 16 montre que la valeur minimale de la densité fongique est enregistrée dans S4 ($0,29 \pm 0,11 \times 10^4$ UFC/g) et la valeur maximale est enregistrée dans S7 ($7,46 \pm 2,6 \times 10^4$ UFC/g).

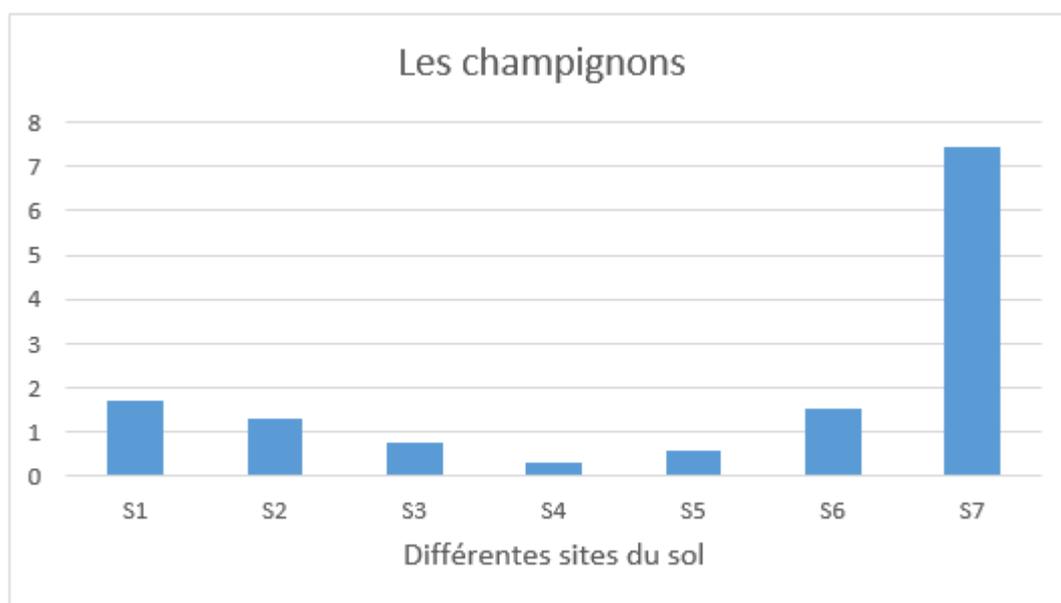


Figure 16 : Représentation graphique de la variabilité spatiale des champignons 10^4 (UFC/g) des sols.

Comparativement aux autres groupes microbiens, les champignons sont numériquement plus faibles dans nos échantillons du sol. Ce n'est peut-être pas surprenant, parce que d'autres environnements ont présenté le même profil des communautés microbiennes (Baldrian et al., 2012). 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). Il est estimé qu'1g du sol contient plus de 200 mètres d'hyphes de champignons (Curtis et al., 2002).

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significative entre les champignons et l'altitude (Tableau 28) et hautement significatives avec les variations saisonnières (Tableau 29).

Conformément aux nos résultats, (Margesin et *al.*, 2009; Chang et *al.*, 2016) ont démontré que l'altitude pourrait déterminer la structure des communautés fongiques dans un écosystème.

Tableau 28 : Analyse de la variance pour la variable des champignons du sol à différentes altitudes

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Champignons	4,45 10 ¹⁰	6	7,43 10 ⁹	5,14	0,000
Erreur	1,11 10 ¹¹	77	1,45 10 ⁹		

Tableau 29 : Analyse de la variance pour la variable des champignons du sol pour différentes saisons

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Champignons	2,21 10 ¹⁰	3	7,35 10 ⁹	4,39	0,006
Erreur	1,34 10 ¹¹	80	1,67 10 ⁹		

Le test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95%, a montré l'existence d'une différence significative de ($\leq 0,05$) entre la saison du printemps et les saisons de l'été et l'automne avec une moyenne de 26902,59 (UFC/g) et 20877,67 (UFC/g) respectivement (Tableau 30).

Tableau 30 : Test de Games-Howell/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable saison avec les champignons)

(I) Saison	(J) Saison	Différence moyenne (I-J)	Sig.
1	2	13562,211905	0,867
	3	40464,804762	0,095
	4	34439,885333	0,195
2	1	-13562,211905	0,867
	3	26902,59*	0,003
	4	20877,67*	0,033
3	1	-40464,804762	0,095
	2	-26902,592857	0,003
	4	-6024,919429	0,220
4	1	-34439,885333	0,195
	2	-20877,6734*	0,033
	3	6024,91943	0,22

Saison : 1 Hiver, 2 printemps, 3 été, 4 Automne.

Tableau 31 : Corrélation entre l'altitude et les champignons des sols de la zone d'étude

Champignons	
Corrélation de Pearson	-0,295**

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Tableau 32 : Corrélation entre les variations saisonnières et les champignons des sols

Champignons	
Corrélation de Pearson	-0,338**

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

La corrélation de Pearson indique que les champignons ont une corrélation négative hautement significative avec l'altitude et les variations saisonnières (Tableaux 31 et 32). En accord avec nos résultats, (Wang et *al.*, 2015) ont constaté que la flore fongique diminue significativement avec l'altitude.

Conclusion

A l'issue de cette phase de travail nous avons pu mettre en évidence l'effet de l'altitude et les variations saisonnières sur la densité des communautés microbiennes présentes dans les sols du sous bassin versant de oued k'sob.

Le dénombrement des germes montre que les bactéries sont les microorganismes les plus abondants dans les différents sols à cause de leur grand pouvoir d'adaptation et de multiplication ; suivie par les actinomycètes et enfin par les champignons.

Les résultats relatifs à la densité de la microflore et la biomasse microbienne des sols du sous bassin versant de oued k'sob montre une supériorité numérique durant la saison du printemps comparativement aux autres saisons. Ainsi nous avons enregistré une variation spatiale de la densité des communautés microbiennes.

L'analyse de la variance montre que la variation saisonnière a un effet très hautement significatif sur la microflore et la biomasse microbienne du sol, l'altitude a un effet significatif sur la microflore totale et les bactéries mésophiles et un effet très hautement significatif sur les champignons.

D'une manière générale, les variations saisonnières et altitudinales ont inévitablement un impact sur les populations microbiennes du sol.

*Chapitre 7 : Les variations de la biomasse
microbienne des sols selon les caractéristiques
édaphiques*

Le sol est en effet un biotope hétérogène, tant du point de vue physique et chimique (Voroney, 2007), que du point de vue biologique. (Goodfellow et Williams, 1983) acceptait le concept selon lequel les microorganismes n'étaient pas distribués de façon homogène dans le sol. De nombreux facteurs limitants contrôlent cette distribution (Souchier et Bonneau, 1979). Les facteurs édaphiques et les sources trophiques (Arpin et *al.*, 1980; Wakelin et *al.*, 2008) sont parmi ces facteurs.

Les caractéristiques physicochimiques influencent fortement les propriétés biologiques des sols. Des relations étroites ont d'ailleurs été mises en évidence entre les caractéristiques physicochimiques et la microflore du sol (Chaussod et *al.*, 1986; Vekemans et *al.*, 1989).

Cette phase d'étude vise à mettre en évidence l'effet des propriétés physicochimiques du sol sur la microflore dans les différentes altitudes et durant les quatre saisons dans le sous bassin versant d'oued K'sob.

7.1 Effet des caractéristiques édaphiques sur la densité et la biomasse microbienne

Les Caractéristiques physico-chimiques de la couche superficielle (0-20cm) du sol étudié prélevé durant les quatre saisons sont reportées dans le tableau 33.

Tableau 33 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de notre zone d'étude

	Da (g.cm ⁻³)	Porosité (%)	H%	pH	CE (mS/cm) à 25°C	CaCO ₃ (%)	CaCO ₃ actif (%)	C _{org} (%)	MO (%)	N tot (%)	C/N	HCO ₃ ⁻ (mmole/l)	P (ppm)	Cl ⁻ (mmole/l)	CEC (méq/100 g)	K ⁺ (mmole/l)	Na ⁺⁺ (mmole/l)	Ca ⁺⁺ (mmole/l)
S1	1,17±0,05	54,71±2,27	5,43±1,46	7,64±0,1	0,97±0,12	38,91±2,29	15,58±2,55	1,33±0,11	2,29±0,2	0,08±0,01	22,38±4,81	1,48±0,08	2,7±0,7	9,58±1,02	1,61±0,2	36,67±8,37	0,19±0,05	0,09±0,02
S2	1,18± 0,1	54,61±3,85	9,36± 3,95	7,4±0,08	2,33±0,331	30,07±1,27	16,08±3,18	1,06±0,17	1,82±0,29	0,11±0,01	14,48±3,95	1,36±0,15	3,76±0,42	9,08±0,92	1,68±0,27	49,77±11,71	0,17±0,4	0,09±0,02
S3	0,96±0,16	63,07±6,1	3,61±1,19	7,69±0,03	1,73±0,12	41,74±4,48	17,96±3,11	0,91±0,18	1,56±0,31	0,04±0,006	25,30±4,78	1,37±0,1	3,97±0,26	11±0,97	1,61±0,32	32,98±8,92	0,24±0,06	0,12±0,03
S4	1,44±0,05	44,42±1,86	5,52±1,6	7,54±0,07	2,42±0,12	17,69±2,61	14,79±2,23	0,29±0,04	0,5±0,07	0,01±0,002	32,89±11,24	1,01±0,16	4,97±1,24	10,42±0,76	1,28±0,17	26,5±5,56	0,01±0,03	0,05±0,013
S5	1,09±0,02	57,78±0,85	12,96±2,31	7,57±0,1	2,76±0,15	14,71±0,81	13,92±2,6	0,55±0,11	0,95±0,19	0,05±0,007	13,81±4,18	1,06±0,14	2,04±0,39	9,17±1,09	2,21±0,38	27,02±7,36	0,18±0,05	0,09±0,02
S6	1,07±0,04	58,84±1,51	6,7±2,37	7,73±0,11	0,431±0,033	32,27±2,47	21,98±2,54	1,05±0,24	1,81±0,41	0,14±0,01	10,42±2,79	1,73±0,17	6,25±0,29	8,63±0,99	1,95±0,38	28,84±7,86	1,02±0,49	0,51±0,25
S7	1,2±0,06	52,01±2,41	6,96±1,93	8,05±0,08	0,350±0,04	19,74±1,92	12,15±2,03	0,47±0,09	0,82±0,15	0,05±0,006	7,17±1,31	1,34±0,11	2,29±0,51	8,67±0,43	1,92±0,32	19,74±4,88	0,97±0,48	0,48±0,24

S : station, Da : Densité apparente, H : humidité, CE : Conductivité Electrique, CaCO₃ : Carbonate de calcium, C_{org} : Carbone organique, MO : Matière Organique, N tot : Azote Totale, C/N : rapport carbone sur azote, HCO₃⁻ : Bicarbonate, P : Phosphore assimilable, Cl⁻ : Chlorure, CEC : Capacité d'Echange Cationique, K⁺ : Potassium, Na⁺⁺ : Sodium, Ca⁺⁺ : Calcium, les valeurs (Moyenne± erreur-type).

7.1.1 La texture

Tableau 34 : La texture des sols

station	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7
texture	Limoneuse	Limoneuse	Limoneuse	Sablo- limoneuse	Argilo- limoneuse	Argilo- limoneuse	équilibrée

Les résultats dégagés de cette étude (Tableau 34) révèlent que les sols étudiés présentent une texture limoneuse en S1, S2 et S3, sablo- limoneuse en S4, argilo- limoneuse en S5 et S6 alors que le sol de S7 a une texture équilibrée selon le triangle des textures.

La texture du sol est un facteur important qui contrôle la dynamique microbienne du sol (Müller et Höper, 2004; Kaštovská et al., 2007). Les études précédentes ont démontré que la composition des communautés microbiennes a semblé varier en fonction de la taille des agrégats du sol (Kanazawa et Filip, 1986; Sessitsch et al., 2001; Wieland et al., 2001; Väisänen et al., 2005).

Tableau 35 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de la texture

	F	Pr>F
Bactérie mésophiles	3,353	0,000
Champignons	8,17	0,000
Actinomycètes	6,74	0,000
Microflore totale	7,48	0,000
Biomasse microbienne	0,308	0,820

NB : 0,05 significative, 0,01 hautement significative, 0,001 très hautement significative.

D'après les résultats de l'analyse de la variance, Nous avons trouvé que la texture a un effet très hautement significatif sur les bactéries, les champignons, les actinomycètes et la microflore totale (Tableau 35). En accord avec les résultats que nous avons trouvés, (Lundquist et al., 1999; Steenwerth et al., 2008) indiquent que les microorganismes du sol dépendent de la texture du sol. (Goodfellow et Williams, 1983) a signalé que la distribution et l'activité des actinomycètes du sol est influencée par les teneurs en l'argile dans le sol.

Le test de Tukey /Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (Tableaux 36, 37, 38), a montré l'existence de deux groupes à savoir le groupe A qui regroupe les trois types de texture limoneuse, sablo- limoneuse, argilo- limoneuse et le groupe B regroupe la texture équilibrée.

Tableau 36 : Test de Tukey/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable texture avec les bactéries mésophiles)

	Sous- ensemble pour alpha=0,05
3	4,43 10 ¹⁰
2	4,30 10 ¹²
1	1,17 10 ¹³
4	7,72 10 ¹⁴

Tableau 37: Test de Tukey/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable texture avec les champignons)

	Sous- ensemble pour alpha=0,05
2	2886,01
3	10346,40
1	12561,36
4	471670,75

Tableau 38 : Test de Tukey/ Analyse des différences entre les modalités avec intervalle de confiance à 95% (variable texture avec les actinomycètes)

	Sous- ensemble pour alpha=0,05
2	269430,83
1	605037,83
3	1020898,08
4	11813030,50

La texture : 1 limoneuse, 2 sablo- limoneuse, 3 argilo- limoneuse 4 Sabloargilolimonense

Tous les sols contiennent des communautés microbiennes, quelle que soit leur texture. Cependant, les sols composés d'un mélange de sable, de limon et d'argile constituent un habitat plus favorable pour les microorganismes, car ils contiennent plus d'éléments nutritifs et permettent une meilleure circulation de l'eau et de l'air que les sables ou les argiles pures. Les communautés microbiennes présentes dans les sables purs où les argiles sont moins nombreuses et moins actives (Maier et al., 2009).

Tableau 39 : Corrélation entre la texture et la microflore des sols

	Bactérie mésophile	Champignons	Actinomycète	Microflore totale
Corrélation de Pearson	0,309**	0,324**	0,316**	0,309**

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Les résultats de corrélation entre les paramètres microbiologiques et la texture nous a permis de mettre en évidence :

Une corrélation positive hautement significative entre ce paramètre et les bactéries mésophiles, les champignons, les actinomycètes et la microflore totale (Tableau 39).

La fraction granulométrique joue un rôle de protection, en effet, (Oulbachir, 2010) ont démontré que le niveau de la biomasse microbienne est beaucoup plus important dans la fraction argileuse comparativement aux autres fractions texturales. (Bott et Kaplan, 1985; Väisänen et *al.*, 2005) ont observé que la biomasse microbienne du sol augmente lorsque la taille des grains du sol décroît.

7.1.2 La densité apparente et la porosité

La densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du matériau et indirectement, la porosité totale (Alongo et Kombele, 2009).

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol (Chauvel, 1977).

Les résultats analytiques illustrés dans la figure 17 montrent que la densité apparente des sols de notre région d'étude varie entre 1,01 S6 et 1,47 g/cm³ S1 en hiver 0,67 S2 et 1,51 g/cm³ S3 au printemps, 1,02 S1 et 1,68g/cm³ S4 en été 0,98 S6 et 1,49 g/cm³ S4 en automne.

Une valeur élevée de densité apparente signifie que les vides sont réduits et que les particules sont fortement compactées (Mermound, 2010).

Selon (Brady et Weil, 2002), les horizons A des sols qui ont une D_a variant entre 0,9 et 1,8 g.cm⁻³ sont des sols cultivés. Les densités apparentes de la plupart des sols étudiés se situent dans la gamme citée.

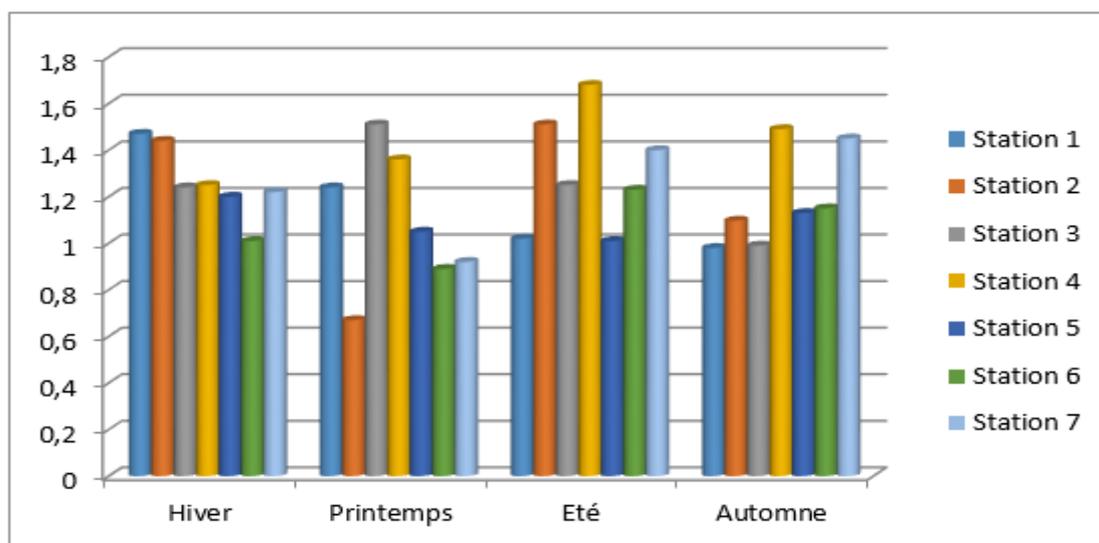


Figure 17 : Variation spatiotemporelle de la densité apparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) des sols.

Un effet hautement significatif de la densité apparente sur les bactéries mésophiles et la microflore totale et un effet très hautement significatif sur les champignons, les actinomycètes, et la biomasse microbienne est indiquée par l'analyse de variance dans le Tableau 40.

Tableau 40 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de la densité apparente

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie		$1,68 \cdot 10^{27}$	24	$6,99 \cdot 10^{25}$	2,45	0,003
mésophiles	Erreur	$1,68 \cdot 10^{27}$	59	$2,85 \cdot 10^{25}$		
Champignons		$1,53 \cdot 10^{11}$	24	$6,35 \cdot 10^9$	107,78	0,000
	Erreur	$3,48 \cdot 10^9$	59	$5,89 \cdot 10^7$		
Actinomycètes		$2,26 \cdot 10^{14}$	24	$9,41 \cdot 10^{12}$	45,17	0,000
	Erreur	$1,23 \cdot 10^{13}$	59	$2,08 \cdot 10^{11}$		
Microflore		$1,68 \cdot 10^{27}$	24	$6,99 \cdot 10^{25}$	2,45	0,003
totale	Erreur	$1,68 \cdot 10^{27}$	59	$2,85 \cdot 10^{25}$		
Biomasse		1075291,294	24	44803,80	8,913	0,000
microbienne	Erreur	296565,685	59	5026,537		

(Li et al., 2002) ont remarqué que la densité apparente du sol est négativement et linéairement corrélée avec le nombre des microorganismes. Lorsque elle passe de $1,00$ à $1,60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, le nombre total de bactéries, de champignons et d'actinomycètes a diminué de 26 à

39%. Ainsi, l'augmentation de la compaction du sol à partir d'une densité apparente de $1,5 \text{ mg/m}^{-3}$, affectera certains processus microbiennes (De Neve et Hofman, 2000).

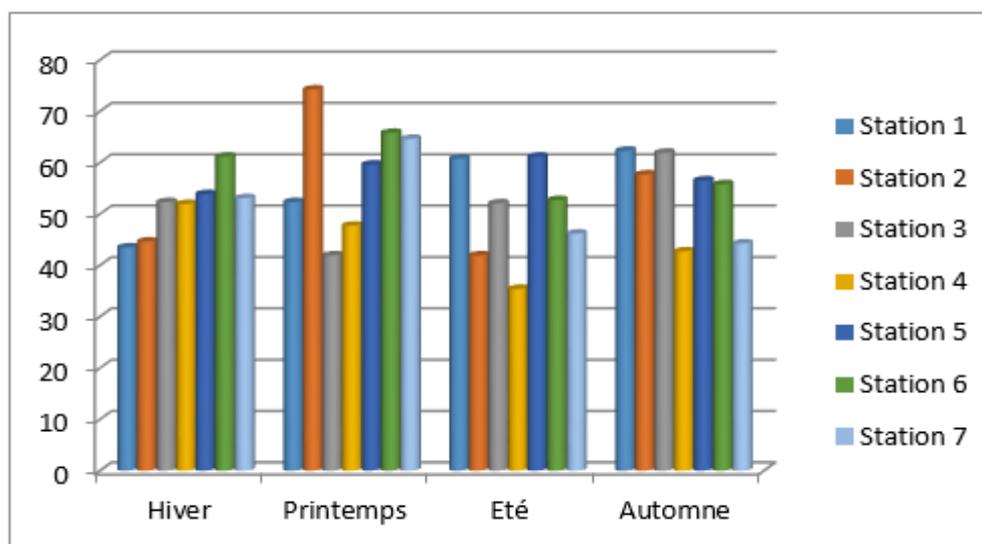


Figure 18 : Variation spatiotemporelle de la porosité (%) des sols.

On observe qu'en surface (0-20 cm) pour la plupart des stations, la porosité totale est autour 40 % et 60 % (Figure 18). D'après l'analyse de la variance, La porosité a un effet très hautement significatif sur la microflore du sol (Tableau 41).

Tableau 41 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de la porosité

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie		$2,68 \cdot 10^{27}$	25	$1,07 \cdot 10^{26}$	9,28	0,000
mésophiles	Erreur	$6,72 \cdot 10^{26}$	58	$1,16 \cdot 10^{25}$		
Champignons		$1,53 \cdot 10^{11}$	25	$6,12 \cdot 10^9$	119,8	0,000
	Erreur	$3,48 \cdot 10^9$	58	$5,11 \cdot 10^7$		
Actinomycètes		$2,34 \cdot 10^{14}$	25	$9,38 \cdot 10^{12}$	140,74	0,000
	Erreur	$3,86 \cdot 10^{12}$	58	$6,66 \cdot 10^{10}$		
Microflore totale		$2,69 \cdot 10^{27}$	25	$1,07 \cdot 10^{26}$	9,28	0,000
	Erreur	$6,72 \cdot 10^{27}$	58	$1,16 \cdot 10^{25}$		
Biomasse microbienne		1075291,294	24	44803,80	8,913	0,000
	Erreur	296565,685	59	5026,537		

D'après (Josephson et al., 2000), parmi les facteurs essentiels qui influencent la croissance et l'activité des populations bactériennes dans le sol est la taille des pores des particules de sol. (Hassink et al., 1993) ont montré une corrélation positive entre la densité bactérienne et le volume des pores.

Lorsque la densité apparente du sol est élevée, la porosité diminue, ce qui peut créer des conditions moins favorables pour les microorganismes du sol (Jensen *et al.*, 1996) par la réduction de la disponibilité en eau du sol et l'aération (Breland et Hansen, 1996; Chen *et al.*, 2003).

7.1.3 L'humidité

Vu la situation de la zone d'étude en région steppique, le taux d'humidité est généralement faible sauf pendant l'hiver où il y'a des pluies. Il varie de 0,43 (S6, Printemps) à 32,03% (S2, Hiver) (Figure 19).

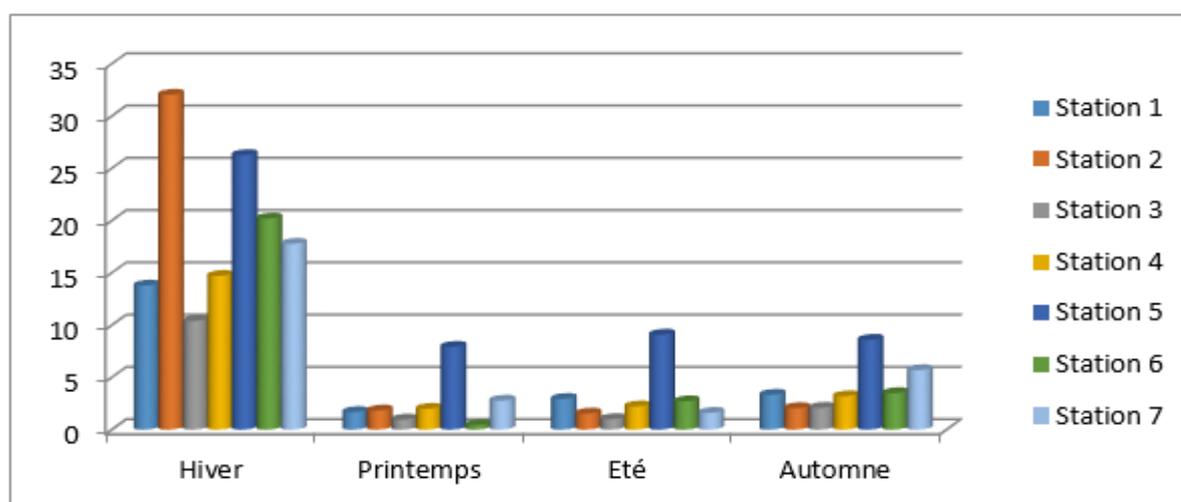


Figure 19 : Variation spatiotemporelle de l'humidité (%) des sols.

D'après (Josephson *et al.*, 2000), l'humidité est parmi les facteurs essentiels qui influencent la croissance et l'activité des populations bactériennes dans le sol. Selon (Zak *et al.*, 1994), au niveau de l'écosystème, toute activité fongique dans les systèmes arides et semi-arides est réglée par l'eau. La majorité des actinomycètes croient dans des conditions humides mais aérobies. En effet l'activité des microorganismes du sol dépend de l'humidité (Lundquist *et al.*, 1999; Steenwerth *et al.*, 2008). Selon (Dommergues et Mangenot, 1970), l'activité microbienne augmente progressivement avec l'augmentation de l'humidité du sol jusqu'à un maximum puis décroît. (Geisseler et Horwath, 2009; Karabi, 2016) ont trouvé une corrélation positive et significative entre l'humidité du sol et densité de la biomasse microbienne.

L'influence de l'humidité sur les communautés microbiennes du sol est bien connue dans la littérature (Olson et Lindwall, 1991; Cook et Orchard, 2008).

Dans notre étude nous avons trouvé que l'humidité a un effet très hautement significatif sur la microflore du sol (Tableau 42). En accord avec nos résultats, beaucoup d'autres études ont toutefois décrit un effet significatif de l'humidité du sol sur la communauté microbienne (Gunapala et Scow, 1998; Barness et *al.*, 2009; Gómez-Hernández et *al.*, 2012).

Tableau 42 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de l'humidité

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie		3,36 10 ²⁷	27	1,24 10 ²⁶	1,04 10 ⁴	0,000
mésophiles	Erreur	6,67 10 ²³	56	1,19 10 ²²		
Champignons		1,53 10 ¹¹	27	5,68 10 ⁹	7147,17	0,000
	Erreur	2,7 10 ⁹	56	4,84 10 ⁷		
Actinomycètes		2,35 10 ¹⁴	27	8,69 10 ¹²	135,18	0,000
	Erreur	3,60 10 ¹²	56	6,43 10 ¹⁰		
Microflore totale		3,36 10 ²⁷	27	1,24 10 ²⁶	10447,63	0,000
	Erreur	6,67 10 ²³	56	1,19 10 ²²		
Biomasse microbienne		135635,628	27	50134,65	154,08	0,000
	Erreur	1371856,98	56	325,38		

7.1.4 Le pH

Les résultats de l'analyse du pH montrent que la majorité des sols étudiés ont des pH neutres, alcalines à très alcalines (Annexe 8). Ils varient de 7.04 (station 5, automne) à 8.42 (station 7, hiver) (Figure 20).

Les résultats du pH du sol ont un lien étroit avec les variations saisonnières du pH d'où sa teneur est plus élevée durant les périodes pluvieuses et froides (Rengel, 2002). Le pH augmente généralement avec les teneurs en calcaire dans le sol (Karabi, 2016).

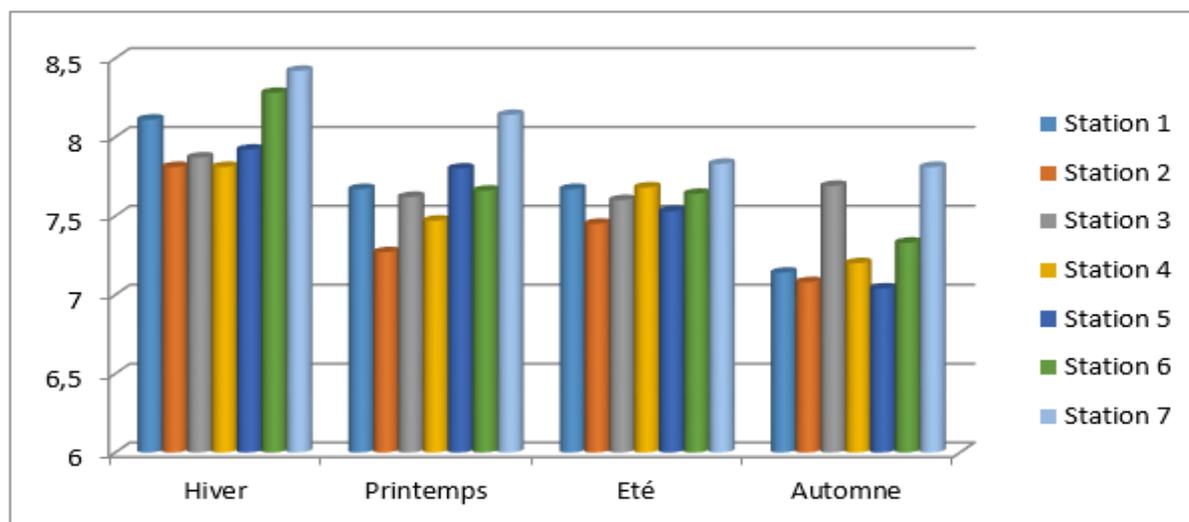


Figure 20 : Variation spatiotemporelle de pH des sols.

En effet, les récents travaux menés sur la caractérisation de la biodiversité microbienne tellurique sur des grandes échelles spatiales montrent que le pH est le filtre environnemental majeur de cette biodiversité (Fierer et Jackson, 2006; Dequiedt et *al.*, 2009).

Un effet très hautement significatif ($p \leq 0,001$) du pH sur la microflore des sols de notre zone d'étude est indiqué par l'analyse de variance dans le tableau 43.

Tableau 43 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de pH

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries		$2,76 \cdot 10^{31}$	26	$1,06 \cdot 10^{30}$	$5,63 \cdot 10^4$	0,000
mésophiles	Erreur	$1,07 \cdot 10^{27}$	57	$1,88 \cdot 10^{25}$		
Champignons		$9,34 \cdot 10^{12}$	26	$3,59 \cdot 10^{11}$	7280,13	0,000
	Erreur	$2,7 \cdot 10^9$	57	$4,93 \cdot 10^7$		
Actinomycètes		$6,297 \cdot 10^{15}$	26	$2,42 \cdot 10^{14}$	350,12	0,000
	Erreur	$3,94 \cdot 10^{13}$	57	$6,92 \cdot 10^{11}$		
Microflore totale		$2,75 \cdot 10^{31}$	27	$1,06 \cdot 10^{30}$	$5,64 \cdot 10^4$	0,000
	Erreur	$1,07 \cdot 10^{27}$	56	$1,88 \cdot 10^{25}$		
Biomasse microbienne		1289425,739	26	49593,298	34,29	0,000
	Erreur	82431,24	57	1446,16		

Quant à l'effet de l'acidité, en effet, il existe très peu de réactions chimiques et microbiologiques dans le sol qui ne soient pas sensibles au pH (Brady et Weil, 2002).

En effet, plus le sol est acide, moins la biomasse microbienne est importante. Les actinomycètes (Bisset et Lewis, 1962) et les bactéries sont plus favorisées par des milieux proches de la neutralité (Boullard et Moreau, 1962; Goodfellow et Williams, 1983), alors que les champignons préfèrent des milieux acides où ils ne rencontrent pas la concurrence des

bactéries (Boullard et Moreau, 1962; Morel, 1989). Le pH alcalin de nos sols explique la faible densité des champignons par rapport aux bactéries et actinomycètes.

Tableau 44 : Corrélation entre le pH et la microflore des sols

	Champignons	Actinomycète
Corrélation de Pearson	0,450**	0,277*

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Le pH a une corrélation positive significative avec les actinomycètes ($p < 0.05$), et hautement significative avec les champignons ($p < 0.01$) (Tableau 44).

En accord avec nos résultats, (Zinger, 2009; Wang *et al.*, 2015) ont trouvé une corrélation positive de pH avec les champignons. Malgré que les champignons supportent les pH acides mais ils se développent dans des limites de pH assez large.

7.1.5 La salinité

De point de vue salinité, nous remarquons que les valeurs de la conductivité électrique du sol varient de 0,179 (S7 hiver) à 3,650 (S2 printemps) (mS/cm) à 25°C (Figure 21). Ces valeurs de conductivité électrique nous permettent de classer ces sols dans les classes des sols non salés, peu salés, salés à très salés, selon l'échelle européenne (Aubert, 1978) (Annexe 8).

Les valeurs élevées de la CE indiquent une présence de sels soluble et un caractère minéral dans le sol.

Par ailleurs, la forte salinité est probablement due à l'origine de la roche mère. D'après (Servant, 1975), l'origine saline de la roche est en étroite relation avec le niveau de la salinité du sol.

On peut discuter la faible teneur de salinité soit par l'effet de lessivage, soit par son remplacement par l'alcalinisation (Job *et al.*, 1997).

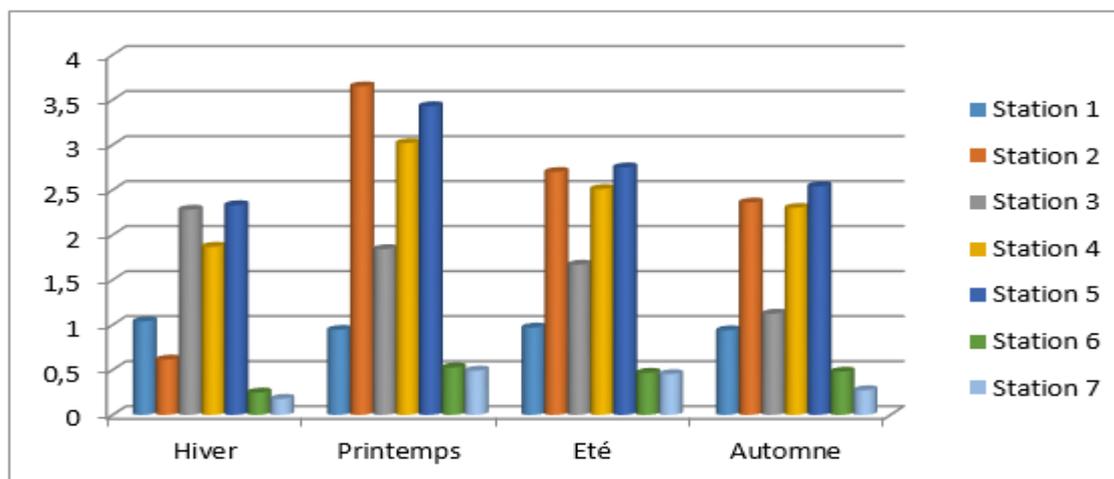


Figure 21 : Variation spatiotemporelle de la conductivité électrique (mS/cm) à 25°C.

(Batra *et al.*, 1997) a constaté que les quantités excessives de sels dans le sol ont un impact défavorable sur la population microbienne et son activité.

(Kareem *et al.*, 2016) a observé une forte réduction des teneurs en carbone de la biomasse microbienne lorsque la CE dépasse 16 dS/m. Beaucoup d'études ont montré que la salinité influe négativement sur la quantité de la biomasse microbienne (Ali-Haimoud, 1982; Dellal et Halitim, 1992; Lame *et al.*, 2016).

En effet, La salinisation affecte les propriétés physico-chimiques, biochimiques et biologiques du sol (Rietz et Haynes, 2003; Singh, 2016). Selon (Moradi *et al.*, 2011), la salinité du sol est considérée comme un facteur de stress réduisant la diversité des microbes en affectant leurs fonctions et leur activité.

D'après les résultats de l'analyse de la variance, La conductivité électrique a un effet très hautement significatif sur la microflore des sols de la zone d'étude ($p < 0.001$) (Tableau 45).

Tableau 45 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de la conductivité électrique

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries		3,36 10 ²⁷	40	8,4 10 ²⁵	5063,92	0,000
mésophiles	Erreur	7,13 10 ²³	43	1,66 10 ²²		
Champignons		1,5 10 ¹¹	40	3,78 10 ⁹	34,682	0,000
	Erreur	4,68 10 ⁹	43	1,09 10 ⁸		
Actinomycètes		2,27 10 ¹⁴	40	5,66 10 ¹²	20,73	0,000
	Erreur	1,17 10 ¹³	43	2,73 10 ¹¹		
Microflore totale		3,36 10 ²⁷	40	8,4 10 ²⁵	5063,91	0,000
	Erreur	7,13 10 ²³	43	1,66 10 ²²		
Biomasse microbienne		1277925,411	40	31948,135	14,625	0,000
	Erreur	93931,569	43	2184,455		

(Ragab, 1993), montre qu'il existe une corrélation négative entre la densité de la flore microbienne et la concentration des sels solubles. Dans notre étude, la salinité a une corrélation négative avec les champignons ($p < 0.01$) Tableau 46.

Peu d'études concernant la relation entre la salinité des sols et la densité des actinomycètes ont été menées. En Californie, Killham et Firestone (1984) in (Mokrane et al., 2013), n'ont trouvé aucune corrélation entre les deux facteurs. Cette constatation est en concordance parfaite avec les résultats que nous avons obtenus.

Tableau 46 : Corrélation entre la conductivité électrique et la microflore des sols

Champignons	
Corrélation de Pearson	-0,295**

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

7.1.6 La matière organique

Les sols de la station 4 au printemps présentent les valeurs les plus faibles (0,26%) par contre les teneurs élevées en MO sont enregistrées dans la station 6 en automne (3,58 %) (Figure 22). Les sols du sous bassin versant de oued k'sob sont très pauvres à moyen en matière organique d'après la norme d'interprétation (Annexe 8).

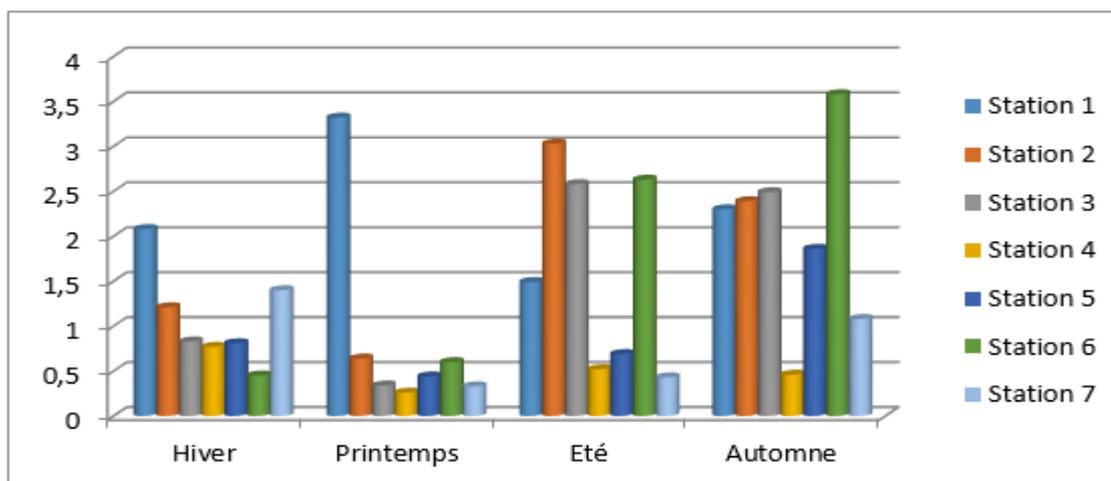


Figure 22 : Variation spatiotemporelle de la matière organique (%) des sols.

La matière organique constitue une source majeure d'énergie et d'éléments nutritifs pour la microflore (Pelletier, 1992). D'après l'analyse de la variance, la matière organique a un effet très hautement significatif sur les bactéries mésophiles, les champignons, la microflore totale et la biomasse microbienne ($p < 0.001$) Tableau 47.

En accord avec nos résultats, (Pietikäinen et Fritze, 1995; Taylor et *al.*, 1999; Tan et *al.*, 2005) ont constaté que les changements dans la matière organique du sol peuvent affecter la biomasse et l'activité des bactéries et des champignons.

Tableau 47 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de la matière organique

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie mésophiles	$3,20 \cdot 10^{27}$	57	$5,62 \cdot 10^{25}$	9,23	0,000
Erreur	$1,58 \cdot 10^{26}$	26	$6,08 \cdot 10^{24}$		
Champignons	$1,45 \cdot 10^{11}$	57	$2,54 \cdot 10^9$	6,02	0,000
Erreur	$1,09 \cdot 10^{10}$	26	$4,22 \cdot 10^8$		
Actinomycètes	$1,81 \cdot 10^{14}$	57	$3,18 \cdot 10^{12}$	1,45	0,152
Erreur	$5,71 \cdot 10^{13}$	26	$2,20 \cdot 10^{12}$		
Microflore totale	$3,2 \cdot 10^{27}$	57	$5,61 \cdot 10^{25}$	9,23	0,000
Erreur	$1,58 \cdot 10^{26}$	26	$6,08 \cdot 10^{24}$		
Biomasse microbienne	1273958,31	57	22350,146	5,936	0,000
Erreur	97898,667	26	3765,33		

7.1.7 L'azote et le C/N

En ce qui concerne les teneurs en azote dans les différents points et en les comparants aux normes (Calvet et Villemin, 1986), les sols étudiés présentent des teneurs en azote très

faible, faible, moyenne à riche (Annexe 8). Le taux d'azote est variable entre 0,0048 (S4, Hiver) et 0,19 (S6, Printemps) (Figure 23).

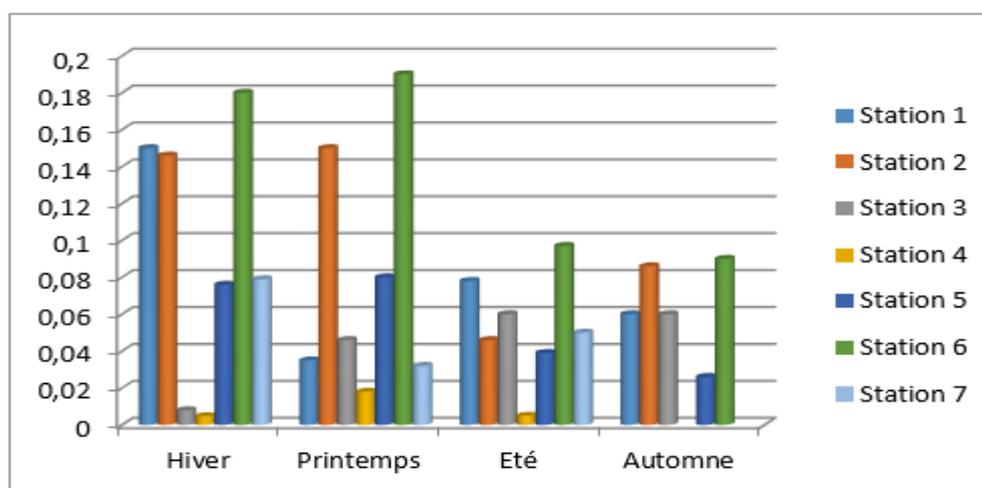


Figure 23 : Variation spatiotemporelle de l'azote (%) des sols.

L'azote a un effet très hautement significatif sur les bactéries mésophiles, les champignons, les actinomycètes, la microflore totale et la biomasse microbienne (Tableau 48).

Tableau 48 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de l'azote

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie mésophiles	$3,32 \cdot 10^{27}$	24	$1,38 \cdot 10^{26}$	$1,09 \cdot 10^4$,000
Erreur	$6,67 \cdot 10^{23}$	53	$1,26 \cdot 10^{22}$		
Champignons	$1,49 \cdot 10^{11}$	24	$6,21 \cdot 10^9$	4616,92	,000
Erreur	$4,45 \cdot 10^9$	53	$8,39 \cdot 10^7$		
Actinomycètes	$2,29 \cdot 10^{14}$	24	$9,55 \cdot 10^{12}$	112,54	,000
Erreur	$4,497 \cdot 10^{12}$	53	$8,48 \cdot 10^{10}$		
Microflore totale	$3,32 \cdot 10^{27}$	24	$1,38 \cdot 10^{26}$	$1,09 \cdot 10^4$,000
Erreur	$6,67 \cdot 10^{23}$	53	$1,26 \cdot 10^{22}$		
Biomasse microbienne	1318388,36	24	54932,848	147,388	,000
Erreur	1,95	53	372,71		

D'après le test de corrélation de Pearson, l'azote a une corrélation positive significative avec les actinomycètes des sols de notre zone d'étude (Tableau 49).

Tableau 49 : Corrélation entre l'azote et la microflore des sols

	Actinomycète
Corrélation de Pearson	0,229*

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Le carbone et l'azote sont généralement les nutriments limitants les plus importants que l'on trouve dans les sols, bien que tout nutriment limitant réduise l'activité microbienne. Étant donné que le carbone et l'azote sont généralement présents à de faibles concentrations, la croissance et l'activité des organismes du sol sont lentes (Maier et al., 2009).

Le rapport C/N est un indicateur de qualité biochimique souvent utilisé comme variable environnementale dans les études écologiques. Dans le contexte sol, cet indice permet de caractériser le niveau de fertilité (Soltner, 2000).

Les valeurs du rapport C/N observées dans la tranche de 0-20 cm des sols de notre zone d'étude varient entre $7,17 \pm 1,31$ (Station 7) et $32,89 \pm 11,24$ (Station 4) (Tableau 33).

7.1.8 Le calcaire total

Le calcaire total de ces sols est variable entre $9,35 \pm 0,81$ % (S7 Automne) et $54,87 \pm 1,18$ % (S3 hiver) (Figure 24), classant ainsi ces sols dans la classe des sols de modérément calcaire, fortement calcaire à très fortement calcaires (Baize, 1988).

On peut interpréter les taux élevés du calcaire total à la géologie de notre région d'étude (chapitre 4).

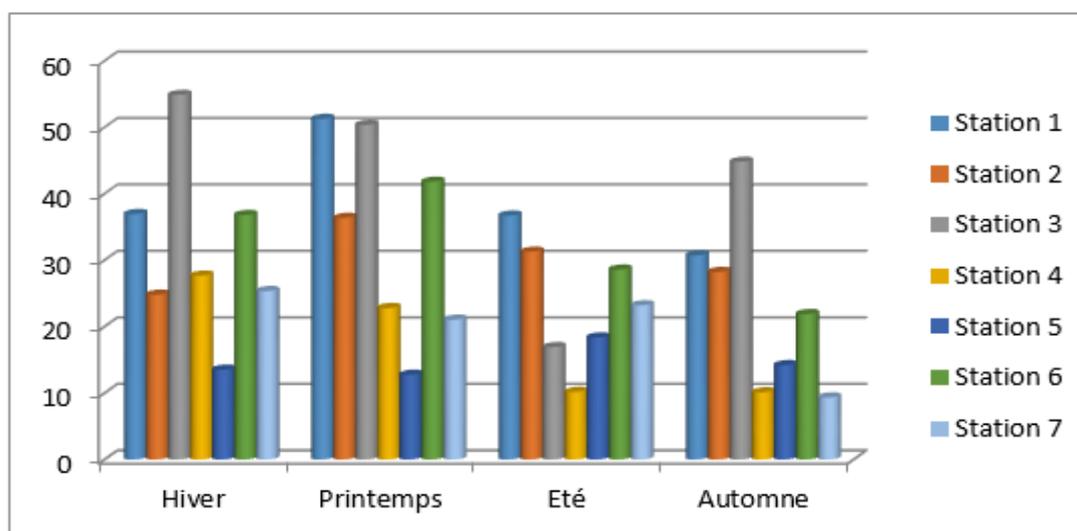


Figure 24 : Variation spatiotemporelle du calcaire total (%) des sols.

Le calcaire total a un effet très hautement significatif sur la microflore des sols de la région d'étude (Tableau 50). En accord avec nos résultats, (Dommergues et Mangenot, 1970) a constaté que le calcium semble avoir diverses influences sur les micro-organismes du sol.

Tableau 50 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du calcaire total

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries mésophiles		3,36 10 ²⁷	72	4,67 10 ²⁵	1,59 10 ¹¹	0,000
	Erreur	3,23 10 ¹⁵	11	2,94 10 ¹⁴		
Champignons		1,55 10 ¹¹	72	2,15 10 ⁹	18,23	0,000
	Erreur	1,29 10 ⁹	11	1,18 10 ⁸		
Actinomycètes		2,38 10 ¹⁴	72	3,31 10 ¹²	649,78	0,000
	Erreur	5,6 10 ¹⁰	11	5,09 10 ⁹		
Microflore totale		3,32 10 ²⁷	72	1,38 10 ²⁶	1,09 10 ⁴	0,000
	Erreur	6,67 10 ²³	11	1,26 10 ²²		
Biomasse microbienne		1367421,313	72	18991,96	47,098	0,000
	Erreur	4435,667	11	403,242		

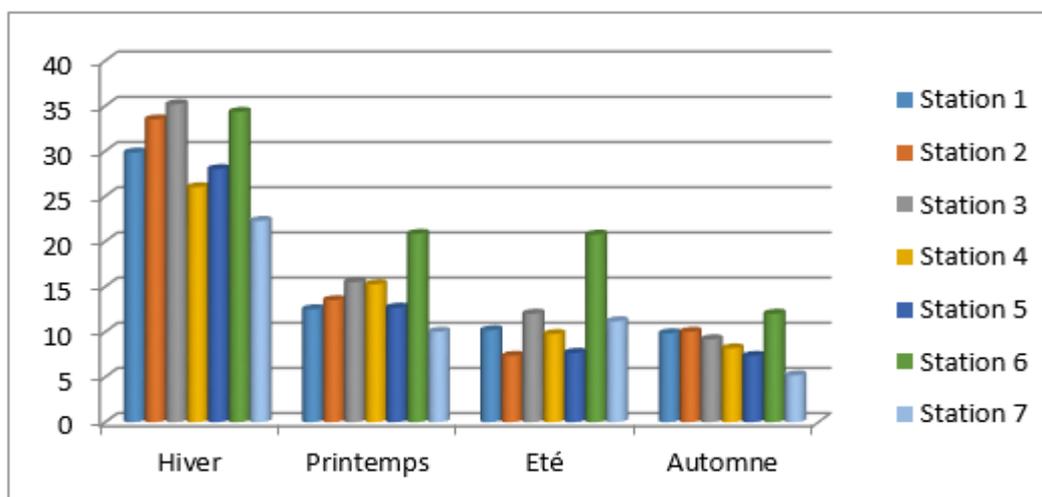
Le calcaire total a une corrélation positive avec les bactéries mésophiles, la microflore totale ($p < 0.01$) et la biomasse microbienne ($p < 0.01$) (Tableau 51).

Tableau 51 : Corrélation entre le calcaire totale et la microflore des sols

	Bactérie mésophile	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	0,422**	0,422**	0,229*

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

7.1.9 Le calcaire actif

**Figure 25** : Variation spatiotemporelle du calcaire actif (%) des sols.

Dans notre étude les valeurs obtenues par l'analyse du calcaire actif sont comprises entre $5,17 \pm 0,76$ S7 automne et $35,17 \pm 0,76$ S3 hiver (Figure 25).

Le calcaire actif a un effet très hautement significatif sur les champignons, et significatif sur les bactéries mésophiles et la microflore totale (Tableau 52).

Tableau 52 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du calcaire actif

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries mésophiles		2,22 10 ²⁷	44	5,05 10 ²⁵	1,72	0,043
	Erreur	1,41 10 ²⁷	39	2,92 10 ¹⁴		
Champignons		1,37 10 ¹¹	44	3,11 10 ⁹	6,35	0,000
	Erreur	1,9 10 ⁹	39	4,9 10 ⁸		
Actinomycètes		1,1 10 ¹⁴	44	2,5 10 ¹²	0,76	0,812
	Erreur	1,28 10 ¹⁴	39	3,29 10 ¹²		
Microflore totale		2,22 10 ²⁷	44	5,05 10 ²⁵	1,72	0,043
	Erreur	1,14 10 ²⁷	39	2,92 10 ²⁵		
Biomasse microbienne		811379,207	44	18440,437	1,283	0,215
	Erreur	560477,773	39	14371,225		

Le calcaire total montre une teneur très importante par rapport au calcaire actif, d'après (Pousset, 2002) un sol riche en calcaire total peut être très pauvre en calcaire actif. Le calcaire actif est la fraction fine du calcaire d'un sol capable de libérer assez facilement du calcium, elle enrichie la solution du sol en bicarbonates solubles (Pousset, 2002).

7.1.10 Phosphore

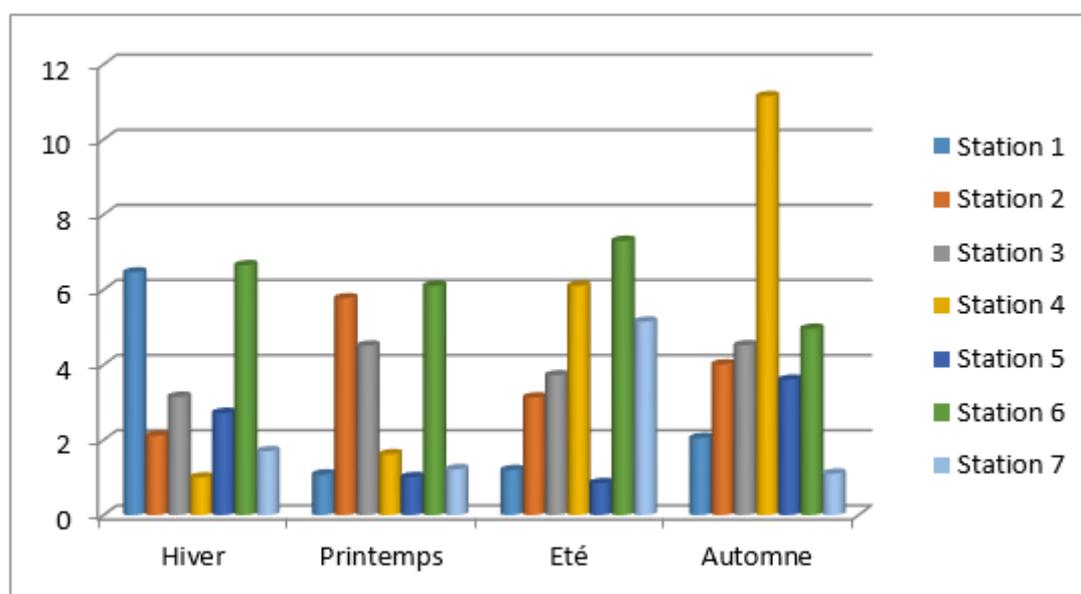


Figure 26 : Variation spatiotemporelle du phosphore (ppm) des sols.

Le phosphore assimilable se trouve en concentration la plus élevée dans l'échantillon S4 en été ($11,15 \pm 0,05$ ppm) par rapport aux autres échantillons (Figure 26). D'après la norme d'interprétation du phosphore assimilable, les sols de notre zone d'étude sont très faible en

phosphore assimilable (Calvet et Villemin, 1986) (Annexe 8). D'après (Arora et Gaur, 1978) sa disponibilité dans les sols est généralement faible.

Il a été décrit dans la littérature que les microorganismes tués par dessiccation peuvent contribuer significativement à enrichir le sol en phosphore (Sparling et coll., 1985 in (Pelletier, 1992)).

Le phosphore a un effet significatif sur les champignons, les actinomycètes (Tableau 53). En accord avec notre étude (Gosling et al., 2006; Sheng et al., 2013) ont trouvé un impact du taux du phosphore sur les champignons.

Tableau 53 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du phosphore

		Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries mésophiles		2,83 10 ²⁷	64	4,43 10 ²⁵	1,6	0,127
	Erreur	5,26 10 ²⁷	19	2,77 10 ¹⁴		
Champignons		1,37 10 ¹¹	64	2,14 10 ⁹	2,18	0,030
	Erreur	1,9 10 ⁹	19	9,8 10 ⁸		
Actinomycètes		2,14 10 ¹⁴	64	3,35 10 ¹²	2,62	0,011
	Erreur	2,42 10 ¹³	19	1,27 10 ¹²		
Microflore totale		2,83 10 ²⁷	64	4,43 10 ²⁵	1,6	0,127
	Erreur	5,26 10 ²⁶	19	2,77 10 ²⁵		
Biomasse microbienne		1131733,8	64	17683,34	1,399	0,210
	Erreur	240123,178	19	12638,062		

Le phosphore a une corrélation négative significative avec les bactéries mésophiles et la microflore totale (Tableau 54).

Tableau 54 : Corrélation entre le phosphore et la microflore des sols

	Bactérie mésophile	Microflore totale
Corrélation de Pearson	-0,247*	-0,247*

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

7.1.11 La CEC

Les sols étudiés possèdent une capacité d'échange cationique faible, selon l'échelle d'interprétation de la CEC (Annexe 8). Ils ont montré une variation de la CEC entre $0,61 \pm 0,01$ (S3, Automne) et $3,68 \pm 0,42$ (S5, Hiver) (Figure 27).

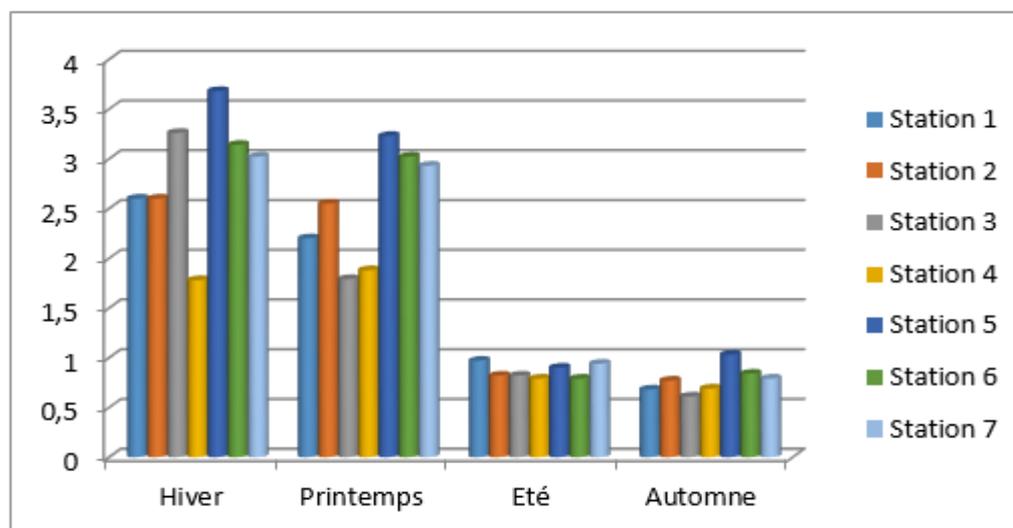


Figure 27 : Variation spatiotemporelle du CEC (még/100g) des sols.

Les faibles valeurs de la CEC peuvent être à l'origine d'un pH plus haut (Mareschal, 2008).

D'après ANOVA, la CEC a un effet très hautement significatif sur les bactéries mésophiles, les champignons, la microflore totale et la biomasse microbienne (Tableau 55).

Tableau 55 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas de la CEC

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactéries mésophiles	$3,2 \cdot 10^{27}$	60	$5,34 \cdot 10^{25}$	7,71	0,000
Erreur	$1,59 \cdot 10^{26}$	23	$6,92 \cdot 10^{14}$		
Champignons	$1,4 \cdot 10^{11}$	60	$2,34 \cdot 10^9$	3,5	0,001
Erreur	$1,9 \cdot 10^9$	23	$6,68 \cdot 10^8$		
Actinomycètes	$1,96 \cdot 10^{14}$	60	$3,26 \cdot 10^{12}$	1,77	0,066
Erreur	$4,25 \cdot 10^{13}$	23	$1,85 \cdot 10^{12}$		
Microflore totale	$3,2 \cdot 10^{27}$	60	$5,34 \cdot 10^{25}$	7,71	0,000
Erreur	$1,59 \cdot 10^{26}$	23	$6,92 \cdot 10^{14}$		
Biomasse microbienne	1241563,48	60	20692,725	3,653	0,001
Erreur	1371856,98	23	5664,935		

La CEC a une corrélation positive hautement significative avec les champignons, les actinomycètes et la biomasse microbienne (Tableau 56). En accord avec les résultats de corrélation, (Boudoudou et al., 2009) ont constaté que l'augmentation de la capacité d'échange cationique favorise l'installation et le développement de la flore fongique.

Tableau 56 : Corrélation entre la CEC et la microflore des sols

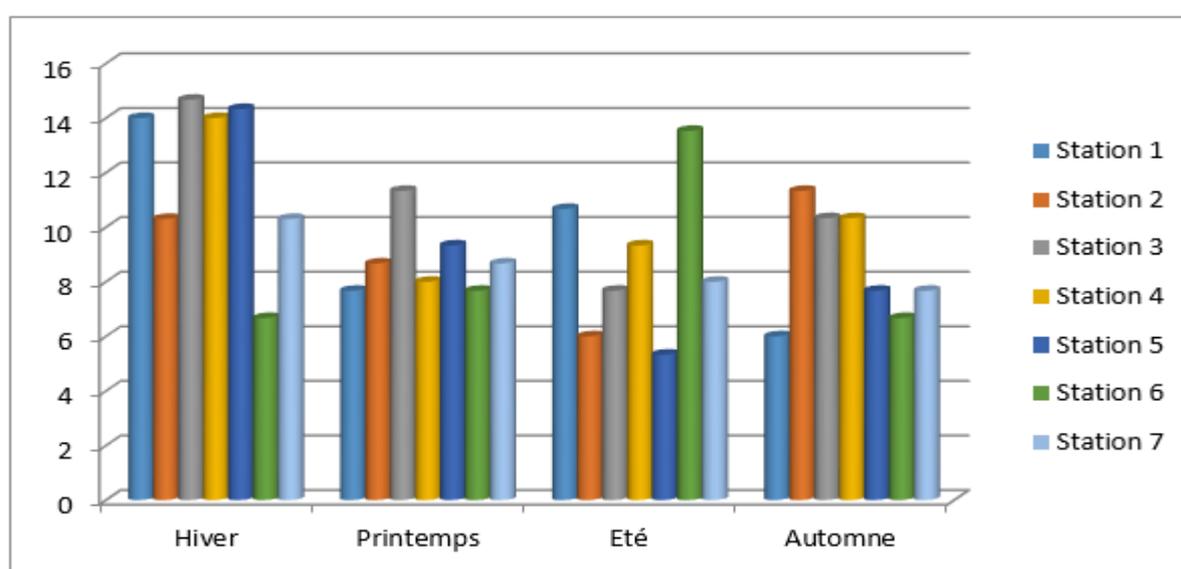
	Champignons	Actinomycète	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	0,383**	0,473**	0,385**

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

7.1.12 Les anions

7.1.12.1 Les chlorures

Les chlorures constituent les anions dominants dans la solution de ces sols ($14,67 \pm 4,51$ mmole /l S3 hiver) et ($5,33 \pm 0,58$ mmole /l S5 été) (Figure 28).

**Figure 28** : Variation spatiotemporelle du chlorure (mmole /l) des sols.

Le chlorure n'a aucun effet sur les communautés microbiennes et la biomasse microbienne (Tableau 57).

Tableau 57 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du chlorure

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie mésophiles	$4,59 \cdot 10^{26}$	15	$3,05 \cdot 10^{25}$	0,72	0,759
Erreur	$2,90 \cdot 10^{27}$	68	$4,27 \cdot 10^{25}$		
Champignons	$1 \cdot 10^{10}$	15	$6,69 \cdot 10^8$	0,31	0,993
Erreur	$1,46 \cdot 10^{11}$	68	$2,14 \cdot 10^9$		
Actinomycètes	$1,56 \cdot 10^{13}$	15	$1,04 \cdot 10^{12}$	0,32	0,992
Erreur	$2,23 \cdot 10^{14}$	68	$3,27 \cdot 10^{12}$		
Microflore totale	$4,59 \cdot 10^{26}$	15	$3,05 \cdot 10^{25}$	0,72	0,759
Erreur	$2,90 \cdot 10^{27}$	68	$4,27 \cdot 10^{25}$		
	211998,19	15	14133,213	0,829	0,643

Biomasse microbienne	Erreur	1159858,78	68	17056,747
----------------------	--------	------------	----	-----------

7.1.12.2 Les bicarbonates

Les bicarbonates présentent des quantités faible, elles oscillent entre $0,57 \pm 0,058$ (mmole /l) S4 et S5 été à $2,23 \pm 0,68$ (mmole /l) S6 hiver (Figure 29).

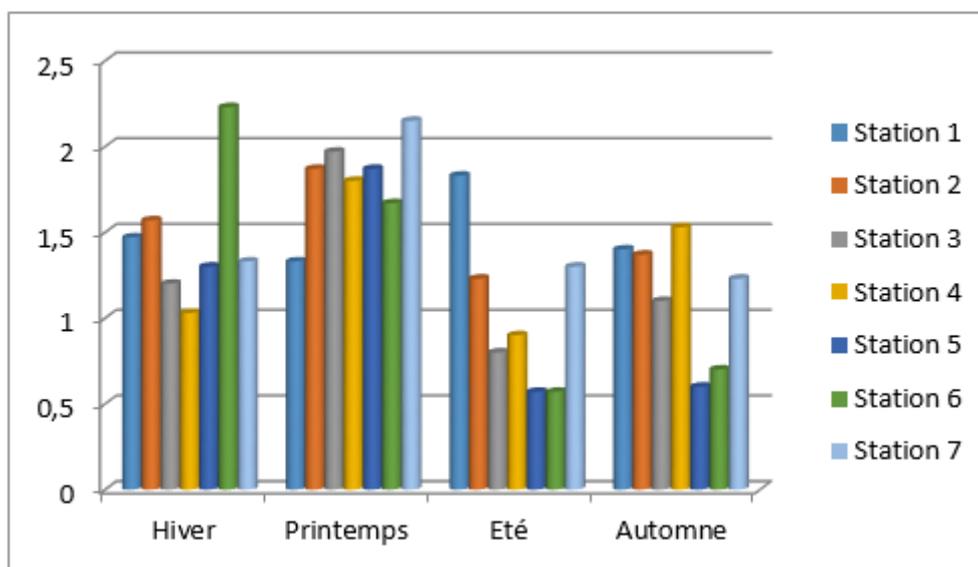


Figure 29 : Variation spatiotemporelle du bicarbonate (mmole /l) des sols.

Le bicarbonate a un effet très hautement significatif sur les bactéries mésophiles, les actinomycètes, la microflore totale et la biomasse microbienne (Tableau 58).

Tableau 58 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du bicarbonate

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie mésophiles		$2,6 \cdot 10^{27}$	31	$8,42 \cdot 10^{25}$	5,84	0,000
	Erreur	$7,50 \cdot 10^{26}$	52	$1,44 \cdot 10^{25}$		
Champignons		$6,25 \cdot 10^{10}$	31	$2,01 \cdot 10^9$	1,12	0,349
	Erreur	$9,34 \cdot 10^{10}$	52	$1,79 \cdot 10^9$		
Actinomycètes		$1,74 \cdot 10^{14}$	31	$5,6 \cdot 10^{12}$	4,51	0,000
	Erreur	$6,46 \cdot 10^{13}$	52	$1,24 \cdot 10^{12}$		
Microflore totale		$2,6 \cdot 10^{27}$	31	$8,42 \cdot 10^{25}$	5,84	0,000
	Erreur	$7,50 \cdot 10^{26}$	52	$1,44 \cdot 10^{25}$		
Biomasse microbienne		1033204,57	31	33329,18	5,118	0,000
	Erreur	338652,406	52	6512,546		

Le bicarbonate a une corrélation positive hautement significative avec les bactéries mésophiles, les actinomycètes, la microflore totale et la biomasse microbienne (Tableau 59).

Tableau 59 : Corrélation entre les bicarbonates et la microflore des sols

	Bactérie mésophile	Actinomycète	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	0,346**	0,421**	0,346**	0,599**

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

7.1.13 Les cations

Les cations basiques jouent un rôle essentiel dans la neutralisation de l'acidité, le maintien de l'activité biologique générale, et la structuration du sol (Duchaufour, 2001).

7.1.13.1 Le potassium

Les valeurs de potassium oscillent entre 3,20 (mmole /l) (S7 printemps) et 98,97 (mmole /l) (S2 automne) (Figure 30). Le potassium est dominant par rapport au sodium et calcium.

Les carences en K sont rares sur les sols argileux ou limono-argileux (Duchaufour, 2001).

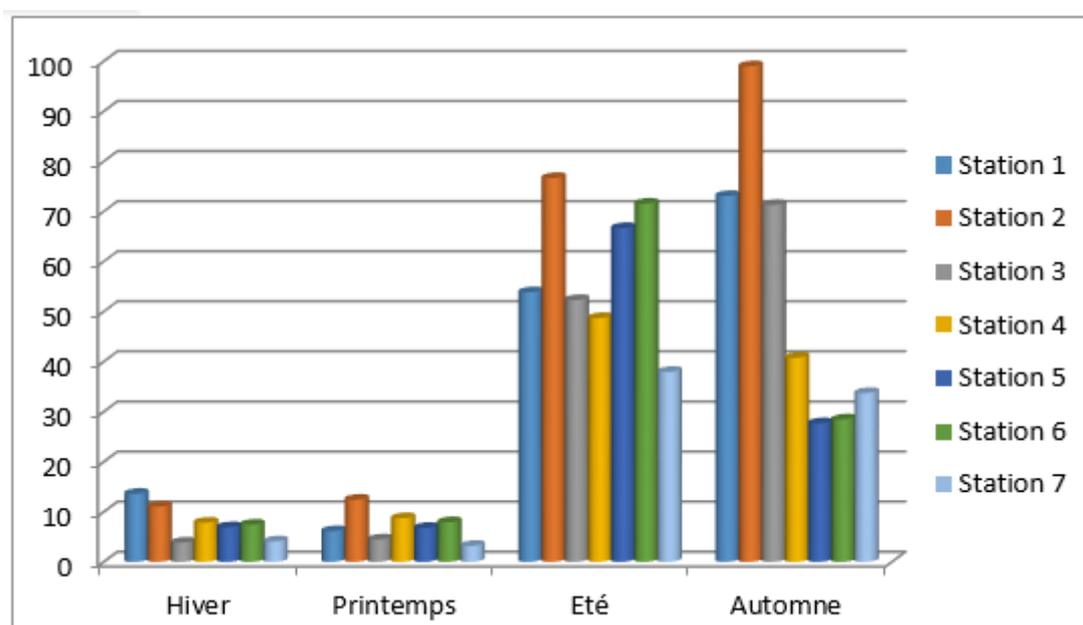


Figure 30 : Variation spatiotemporelle du potassium (mmole /l) des sols.

Le potassium a un effet très hautement significatif sur les bactéries mésophiles, les champignons, les actinomycètes, la biomasse microbienne et la microflore totale du sol (Tableau 60).

Tableau 60 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du potassium

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie mésophiles		3,07 10 ²⁷	46	6,68 10 ²⁵	8,61	0,000
	Erreur	2,87 10 ²⁶	37	7,76 10 ²⁴		
Champignons		1,26 10 ¹¹	46	2,75 10 ⁹	3,44	0,000
	Erreur	2,96 10 ¹⁰	37	7,99 10 ⁸		
Actinomycètes		2,12 10 ¹⁴	46	4,58 10 ¹²	6,14	0,000
	Erreur	2,76 10 ¹³	37	7,46 10 ¹¹		
Microflore totale		3,07 10 ²⁷	46	6,68 10 ²⁵	8,61	0,000
	Erreur	2,87 10 ²⁶	37	7,76 10 ²⁴		
Biomasse microbienne		1259721,96	46	27385,26	9,036	0,000
	Erreur	112135,018	37	3030,676		

Le potassium a une corrélation négative hautement significative avec la microflore des sols de notre zone d'étude (Tableau 61).

Tableau 61 : Corrélation entre le potassium et la microflore des sols

	Bactérie mésophile	Champignons	Actinomycète	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	-0,372**	-0,299**	-0,376**	-0,372**	-0,460**

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Notre recherche a présenté une corrélation négative entre le potassium du sol et les communautés disponibles d'actinomycète. Un résultat similaire a été obtenu près (Chang et al., 2016).

7.1.13.2 Le sodium

Les teneurs en sodium varient entre 0,004 (S4 en hiver, S7 en l'hiver, S7 au printemps) et 3,85 (S6 en été) pour les sols étudiés (Figure 31).

Les principaux types des ions qui composent les sols salins sont les ions de sodium et les ions calcimagnésiques (Ramdane, 2001).

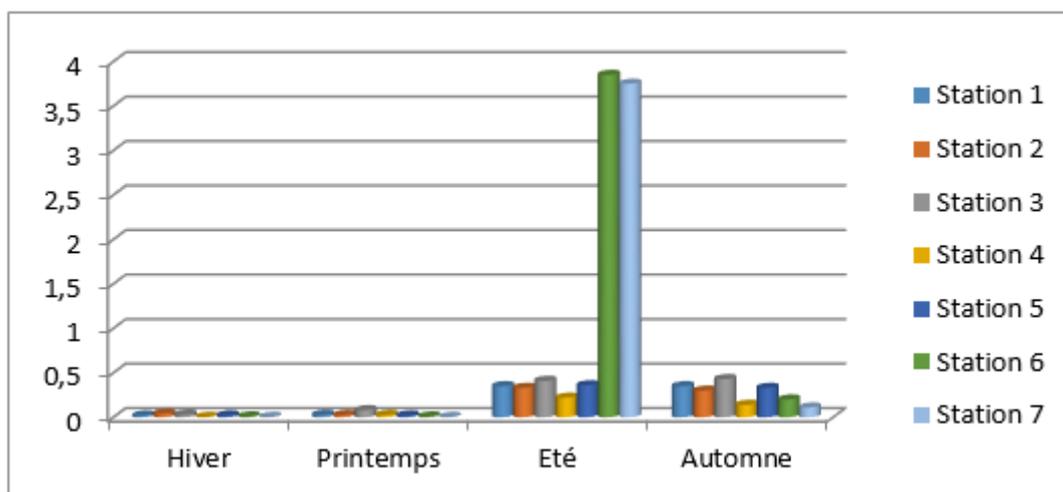


Figure 31 : Variation spatiotemporelle du sodium (mmole /l) des sols.

Le sodium a un effet significatif sur la biomasse microbienne du sol (Tableau 62).

Tableau 62 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du sodium

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie mésophiles	2,32 10 ²⁷	29	8,01 10 ²⁵	4,17	0,000
Erreur	1,04 10 ²⁷	54	1,92 10 ²⁵		
Champignons	8,26 10 ¹¹	29	2,77 10 ⁹	1,97	0,015
Erreur	7,57 10 ¹⁰	54	1,40 10 ⁸		
Actinomycètes	1,33 10 ¹⁴	29	4,59 10 ¹²	2,36	0,003
Erreur	1,05 10 ¹⁴	54	1,95 10 ¹²		
Microflore totale	2,32 10 ²⁷	29	8,01 10 ²⁵	4,17	0,000
Erreur	1,04 10 ²⁷	54	1,92 10 ²⁵		
Biomasse microbienne	907590,85	29	31296,236	3,64	0,000
Erreur	464266,129	54	8597,521		

7.1.13.3 Le calcium

Les valeurs du calcium oscillent entre 0,002 (S4 en hiver, S7 en l'hiver, S7 au printemps) et 1,93 (S6 été) (Figure 32).

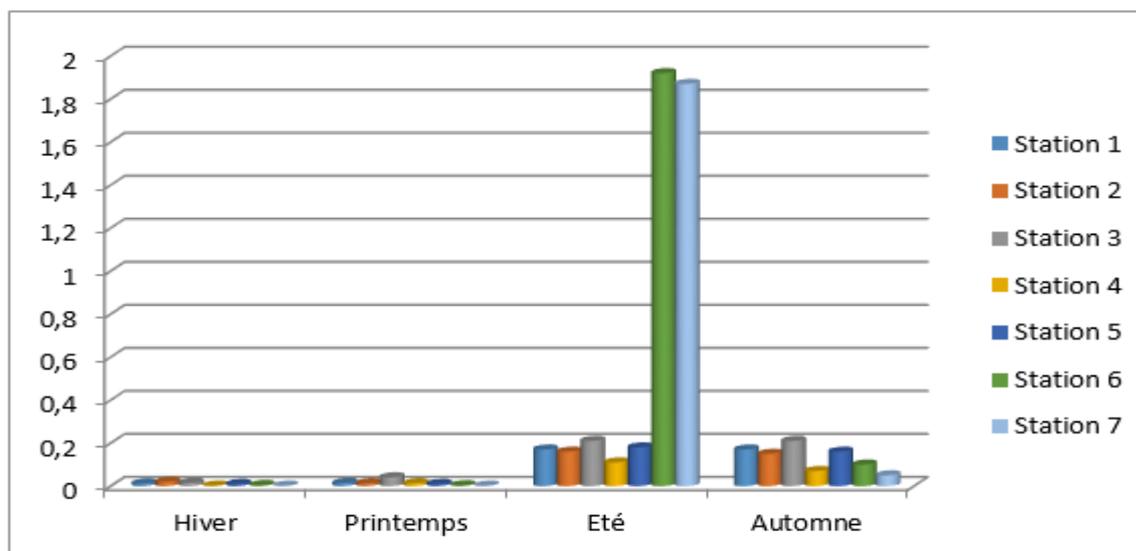


Figure 32 : Variation spatiotemporelle du calcium (mmole /l) des sols.

Le calcium a un effet significatif sur les champignons, hautement significatif sur les actinomycètes et très hautement significatif sur les bactéries mésophiles, la microflore totale et la biomasse microbienne du sol (Tableau 63).

Tableau 63 : Analyse de la variance à un seul facteur : cas du calcium

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Pr>F
Bactérie mésophiles	$2,32 \cdot 10^{27}$	29	$8,01 \cdot 10^{25}$	8,17	0,000
Erreur	$1,04 \cdot 10^{27}$	54	$1,92 \cdot 10^{25}$		
Champignons	$8,26 \cdot 10^{11}$	29	$2,77 \cdot 10^9$	1,97	0,015
Erreur	$7,57 \cdot 10^{10}$	54	$1,40 \cdot 10^8$		
Actinomycètes	$1,33 \cdot 10^{14}$	29	$4,59 \cdot 10^{12}$	2,36	0,003
Erreur	$1,05 \cdot 10^{14}$	54	$1,95 \cdot 10^{12}$		
Microflore totale	$2,32 \cdot 10^{27}$	29	$8,01 \cdot 10^{25}$	4,17	0,000
Erreur	$1,04 \cdot 10^{27}$	54	$1,92 \cdot 10^{25}$		
Biomasse microbienne	907590,85	29	31296,24	3,64	0,000
Erreur	464266,129	54	8597,52		

Le calcium n'a aucune corrélation avec la microflore des sols de notre zone d'étude.

Conclusion

Les résultats des caractéristiques physico-chimiques obtenus montrent que la zone d'étude est caractérisée par des sols à pH neutre à alcalin qui peut atteindre les 8,42, une texture limoneuse en S1, S2 et S3, sableuse limoneuse en S4, argilo- limoneuse en S5 et S6 alors que le sol de S7 a une texture sableuse argilo- limoneuse, un taux d'humidité généralement faible sauf pendant l'hiver où elle atteint jusqu'à 32,03%, des teneurs très pauvres à moyennes en matière organique, très pauvre à riche en azote, des teneurs très faibles en phosphore

assimilable et une teneur très importante en calcaire par rapport au calcaire actif, ces sols sont modérément à très fortement calcaires. Les valeurs enregistrées montrent que les sols de la zone d'étude ont une capacité d'échange cationique faible, pour la salinité ce sont des sols moyennement salés.

Les changements des communautés de la flore microbienne ont été clairement liés aux caractéristiques physico-chimiques du sol, les principaux paramètres étaient la texture, la porosité, l'humidité, le pH, la salinité, la matière organique et l'azote total. La population microbienne varie énormément, non seulement selon les variations saisonnières et l'altitude, mais également en fonction des facteurs édaphiques.

En conclusion, les propriétés physico-chimiques du sol ont été identifiées comme facteurs clé dans la dynamique de la colonisation du sol par les populations microbiennes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les objectifs de la thèse étaient d'évaluer et étudier le comportement de la microflore du sol face à des variations saisonnières, altitudinales et des propriétés physicochimiques des sols du sous bassin versant de oued K'sob dans la région de M'sila.

Dans ce but, une évaluation quantitative a été estimée à travers un dénombrement des communautés microbiennes « les bactéries, les champignons et les actinomycètes » et des mesures de biomasse microbienne des sols à différents altitudes et durant les quatre saisons.

Les résultats obtenus permettent de dégager des conclusions intéressantes sur les relations entre l'altitude, les variations saisonnières, le sol et les microorganismes associés.

Pour évaluer le fonctionnement microbiologique des sols, nous avons étudié 2 point particuliers.

1^{er} point : Les variations de la biomasse et des communautés microbiennes des sols du sous bassin versant de oued K'sob selon les saisons et l'altitude.

A l'issue de cette phase de travail nous avons pu mettre en évidence l'effet de l'altitude et les variations saisonnières sur la densité des communautés microbiennes présentes dans les sols du sous bassin versant de oued k'sob.

Le dénombrement des germes montre que les bactéries sont les microorganismes les plus abondants dans les différents sols à cause de leur grand pouvoir d'adaptation et de multiplication ; suivie par les actinomycètes et enfin par les champignons.

Les résultats obtenus par la mesure de la biomasse microbienne sont cohérents avec les valeurs de la microflore totale issue de dénombrements sur milieu gélosé.

L'ensemble des résultats des analyses microbiologiques de la couche superficielle des sols étudiés (0–20cm), montrent que pendant le printemps, la densité de la flore microbienne est élevée, traduisant ainsi des conditions favorables de croissance du fait que les températures stimulent la prolifération des microorganismes. Les densités enregistrées pour la microflore totale témoignent d'une activité biologique non négligeable et très importante durant les quatre saisons observées. Ainsi, on s'aperçoit que les groupes microbiens étudiés évoluent différemment d'un site à un autre, cette variation peut être expliquée par le fait que les

microorganismes sont soumis à l'influence de différents facteurs biotique et abiotique qui caractérisent les sept stations d'étude.

D'après l'analyse de la variance, nous avons remarqué que la variation saisonnière s'est également avérée avoir une grande influence sur la densité et la biomasse microbienne du sol. Des variations saisonnières significatives, mais différentes d'un site à un autre.

Lors de cette étude, il a été démontré que les bactéries mésophiles et les champignons du sol étaient grandement influencées par l'évolution de l'altitude au sein des sept sites étudiés dont les champignons se corrèlent négativement avec l'altitude.

D'après ces résultats on s'aperçoit que les variations saisonnières et altitudinaux ont inévitablement un impact sur les populations microbiennes du sol.

2^{ème} point : Les variations de la biomasse microbienne des sols du sous bassin versant de oued K'sob selon les caractéristiques édaphiques.

Les résultats du dénombrement des différentes communautés microbiennes et des analyses des paramètres physico-chimiques démontrent clairement une relation spatiale entre la distribution de paramètres physicochimiques et la distribution des communautés microbiennes habitant les sols étudiés.

Les résultats des caractéristiques physico-chimiques obtenus montrent que la zone d'étude est caractérisée par des sols à pH neutre à alcalin qui peut atteindre les 8.42, une texture limoneuse en S1, S2 et S3, sableuse limoneuse en S4, argilo- limoneuse en S5 et S6 alors que le sol de S7 a une texture sableuse argilo- limoneuse, un taux d'humidité généralement faible sauf à la saison d'hiver où allant jusqu'à 32,03%, des teneurs très pauvre à moyenne en matière organique, très pauvre à riche en azote des teneurs très faible en phosphore assimilable et une teneur très importante en calcaires par rapport au calcaire actif, ces sols sont modérément à très fortement calcaire. Les valeurs enregistrées montrent que les sols de la zone d'étude ont une capacité d'échange cationique faible, pour la salinité ce sont des sols non salé à très salé.

Malgré que la plupart des sols étudiés sont salé à très salé, riche en calcaire, pauvre en matière organique qui caractérise la plupart des sols du climat aride et un pH alcalin à très alcalin mais notre étude a mis en évidence l'existence d'une densité microbienne importante des sols.

Les analyses statistiques comme l'ANOVA, montrent que les propriétés physicochimiques des sols étudiés ont un effet significatif sur la microflore du sol, les principaux paramètres étaient la texture, la porosité, l'humidité, le pH, la salinité, la matière organique et l'azote total.

Enfin, les communautés microbiennes du sol sont des composantes dynamiques des écosystèmes terrestres et présentent des variations temporelles et spatiales.

Les résultats issus de cette thèse permettent de fournir des informations intéressantes de la relation entre la dynamique des communautés microbiennes vis à vis des variations spatiotemporelles, ces conclusions permettant l'élaboration de scénarios prédictifs de l'impact de ces variations sur celle de la composante microbienne tellurique, afin de proposer des éléments d'aide à la décision.

Ce travail peut contribuer à remplir le manque existant en matière d'écologie microbienne, mais d'autres travaux sont nécessaires pour augmenter la généralité de ces résultats.

Il serait souhaitable donc de poursuivre ce travail en prenant en compte différentes échelles spatiales (parcelle, paysage...) et temporelles (cycle de culture...) ; d'intégrer de nouveaux aspects que nous n'avons pas pu aborder jusqu'à présent ; les mesures microbiologiques qu'on a utilisé devaient être misent en relation avec des données de profils moléculaires ou de séquençage de façon à mieux caractériser les facteurs responsables des variations spatiales et temporelles de la densité des communautés microbiennes ; d'étudier l'effet d'autres facteurs environnementales biotique et abiotique sur la microflore du sol et leur relation avec les services écosystémiques rendu par cette microflore pour mieux gérer le fonctionnement du sol.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ANBT, (2013). agence nationale des barrages et transfert. Notice explicative de la carte de pente du bassin versant de Oued K'sob. M'sila.
- ANRH, (2013). Agence national des ressources hydrauliques. Notice explicative de la carte de bassin versant de Oued K'sob. Alger.
- Aislabie, J., Deslippe, J. R., Dymond, J. (2013). Soil microbes and their contribution to soil services. *Ecosystem services in New Zealand—conditions and trends. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand*, 143-161.
- Alexander, C., 1977. A pattern language: towns, buildings, construction. Oxford university press.
- Alexander, S. (1982). S. Alexander and R. Orbach, *J. Phys.(Paris) Lett.* 43, L625 (1982). *J. Phys.(Paris) Lett.*, 43, L625.
- Ali-Haimoud, A. (1982). Contribution à l'étude des sols alfatiers: fixation d'azote asymbiotique. Effet du paillage sur cette activité. Thèse de Magister. Algérie :Université Sci. Technol. H. Boumédiène, Alger.
- Allaire, S., Dagesse, D. (2010). Measurement and Processes in Frozen Soils: Preface. *Canadian Journal of Soil Science*, 90(3), 387-388.
- Allan, E. J., Prosser, J. I. (1983). Mycelial growth and branching of *Streptomyces coelicolor* A3 (2) on solid medium. *Microbiology*, 129(7), 2029-2036.
- Allison, S. D., Martiny, J. B. (2008). Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(Supplement 1), 11512-11519.
- Alongo, S., Kombele, F. (2009). Evolution de la densité apparente et du rapport C/N du sol sous les variétés exotiques et locale de manioc dans les conditions naturelles de Kisangani (Rd Congo). *Annales de l'Institut Facultaires des sciences agronomiques de Yangambi*(1), 197-214.
- Annabi, M. (2001). Caractérisation de la microflore de composts d'origine urbaine et effets de leur épandage sur la microflore d'un sol. Mémoire :DEA National de Science du Sol, 20p.
- Anne, P. (1945). Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. *Ann. agron*, 2(1), 161-172.
- Arora, D., Gaur, A. (1978). Periodic Microbial Solubilization of P32 Labelled Hydroxy Apatite. *Indian J. Microbiol*, 10, 315.

- Arpin, P., Kilbertus, G., Ponge, J.F. et al. (1980). Importance de la microflore et de la microfaune en milieu forestier: Gauthier-Villars.
- Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J.-C. et al. (2002). Stocker du carbone dans les sols agricoles de France. *Expertise Scientifique Collective., INRA, Paris, 330.*
- Asuming-Brempong, S., Gantner, S., Adiku, S. et al. (2008). Changes in the biodiversity of microbial populations in tropical soils under different fallow treatments. *Soil Biology and Biochemistry, 40*(11), 2811-2818.
- Atlas, R. M., Bartha, R. (1993). Microbial ecology: fundamentals and applications. Redwood City: CA: Benjamin/Cummings.
- Aubert, G., 1978. Méthodes d'analyses des sols. Marseille : C.R.D.P. 360p.
- Bååth, E., Frostegård, Å., Pennanen, T. et al. (1995). Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils. *Soil Biology and Biochemistry, 27*(2), 229-240.
- Bahlouli F. Amroune A. Tellache S. et al. (2012). Agro-Ecological Study of the Plain of M'sila, Western Northern Zone of the Basin of Hodna, Wilaya of M'sila, Algeria. *Agricultural Journal, 7* (1), 10-16.
- Baize, D., 1988. Guide des analyses courantes en pédologie. Institut national de la recherche agronomique.
- Baize, D., 2000. Guide des analyses en pédologie. Paris : 2ème édition revue et augmentée. *INRA.*
- Bakken, L. R. (1997). Culturable and nonculturable bacteria in soil. *Modern soil microbiology, 676*, 47-61.
- Baldrian, P., Kolařík, M., Štursová, M. et al. (2012). Active and total microbial communities in forest soil are largely different and highly stratified during decomposition. *The ISME journal, 6*(2), 248.
- Barksdale, L., Kim, K.S. (1977). Mycobacterium. *Bacteriological reviews, 41*(1), 217.
- Barnes, G., Zaragoza, S. R., Shmueli, I., & Steinberger, Y. (2009). Vertical distribution of a soil microbial community as affected by plant ecophysiological adaptation in a desert system. *Microbial ecology, 57*(1), 36-49.
- Batra, L., Kumar, A., Manna, M. et al. (1997). Microbiological and chemical amelioration of alkaline soil by growing Karnal grass and gypsum application. *Experimental Agriculture, 33*(4), 389-397.

- Bauzon, D., Ponge, J.F., Dommergues, Y. (1974). Variations saisonnières des caractéristiques chimiques et biologiques des sols forestiers interprétées par l'analyse factorielle des correspondances. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 11(3), 283-301.
- Becker, B., Lechevalier, M., Lechevalier, H. (1965). Chemical composition of cell-wall preparations from strains of various form-genera of aerobic actinomycetes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 13(2), 236-243.
- Becking, J. (1970). Frankiaceae fam. nov.(Actinomycetales) with one new combination and six new species of the genus Frankia Brunchorst 1886, 174. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 20(2), 201-220.
- Bekku, Y. S., Nakatsubo, T., Kume, A. et al. (2004). Soil microbial biomass, respiration rate, and temperature dependence on a successional glacier foreland in Ny-Ålesund, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36(4), 395-400.
- Bell, C., McIntyre, N., Cox, S. et al. (2008). Soil microbial responses to temporal variations of moisture and temperature in a Chihuahuan Desert grassland. *Microbial ecology*, 56(1), 153-167.
- Belyagoubi, L. (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens [En ligne]. Thèse de doctorat : Substances Naturelles, Activités Biologiques et Synthèse. Algerie : université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 170 p. disponible sur : https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Belyagoubi%2C+L.+%282014%29.+Antibiotiques+produits+par+des+bact%3%A9ries+%28actinomyc%3%A8tes+et+bact%3%A9ries+lactiques%29+issus+de+diff%3%A9rents+%3%A9cosyst%3%A8mes+naturels+Alg%3%A9riens.+Th%3%A8se+de+doctorat&btnG=.
- Benabdeli. (2000). Evaluation de l'impact des nouveaux modes d'élevage sur l'espace et l'environnement steppique. Commune de Ras El Ma (Sidi Bel Abbes, Algérie). *Opt. Méd., Sér. A*, , 39, 128-142.
- Bencherif, S. (2011). L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne Évolution et possibilités de développement [En ligne]. Thèse de doctorat : Développement agricole. Paris : AgroParisTech, 269 p. Disponible sur : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00586977/document>
- Benkadja, R., Boussag, F., Benkadja, A. (2015). Identification and assessment of the erosion risk on the K'sob watershed (eastern Algeria). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 91-102. doi: 10.1007/s10064-014-0611-y.

- Benkadja, R., Benhadouga, M., Benkadja, A. (2013). Quantification des matières en suspension et valorisation des sédiments de dragage à l'échelle d'un bassin semi-aride: Cas du barrage du K'sob (Algérie). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 72 (3-4), 1435- 9529.
- Benkadja, R., Hattab, A., Mahdaoui, N. et al. (2013). Assessment of soil losses and siltation of the K'sob hydrological system (semiarid area—East Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 6(10), 3959-3968.
- Bensaci E., N. Y., Cherief A., Boutera N. et al. (2010). Inventaire et statut de l'avifaune de la région du Chott El Hodna (Hautes plaines centrales). Paper presented at the Séminaire International sur la Préservation et la Mise en Valeur de l'Ecosystème Steppique, 14, 15 et 16 mars 2010, Université de M'Sila Algérie.
- Bergeron, O. (2007). Dynamique des échanges de dioxyde de carbone de la pessière noire boréale de l'est du Canada.
- Berthelin, J., Toutain, F. (1979). Biologie des sols. *Pédologie*, 2, 123-160.
- Bisset, G., Lewis, G. (1962). A spectrum of pharmacological activity in some biologically active peptides. *British journal of pharmacology and chemotherapy*, 19(1), 168.
- Blake G.R., Hartge K.H. (1986). Methods of soil analysis: part 1 physical and mineralogical methods. 363-375.
- Bloem, J., Lebbink, G., Zwart, K. et al. (1994). Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralisation in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agriculture, ecosystems & environment*, 51(1-2), 129-143.
- Bossio, D. A., Scow, K. M., Gunapala, N. et al. (1998). Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microbial ecology*, 36(1), 1-12.
- Bott, T., Kaplan, L. (1985). Bacterial biomass, metabolic state, and activity in stream sediments: relation to environmental variables and multiple assay comparisons. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50(2), 508-522.
- Boucenna, F. (2009). Cartographie par les différentes méthodes de Vulnérabilité a la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued DJENDJEN (Jijel, nord-est algérien). Mémoire de magister : Hydrogéologie environnemental et modélisation. Algérie : université Badji Mokhtar Annaba.
- Bouchenafa, N., Oulbachir, K., Kouadria, M. (2014). Effet du travail du sol sur le comportement physique et biologique d'un sol sous une culture de lentille (lens exculenta) dans la région de tiaret Algérie. *European Scientific Journal, ESJ*, 10(3).

- Boudoudou, H., Hassikou, R., Touhami, A. O. et al. (2009). Paramètres physicochimiques et flore fongique des sols de rizières Marocaines. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 148, 17-44.
- Boullard, B., Moreau, R. (1962). Sol, microflore et végétation. *Soil Science*, 93(5), 361.
- Brady, N. C., Weil, R. R. (2002). The nature and properties of soils, Upper Saddle River. *New Jersey*.
- Breland, T. A., Hansen, S. (1996). Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(4), 655-663. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00154-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00154-9)
- Bryant, J. A., Lamanna, C., Morlon, H. et al. (2008). Microbes on mountainsides: contrasting elevational patterns of bacterial and plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(Supplement 1), 11505-11511.
- Burges, A., Hurst, H., Walkden, S. et al. (1963). Nature of humic acids. *Nature*, 199(4894), 696.
- Calvet, G., Villemin, P. (1986). Interprétation des analyses de terre. *France: IPAS, SADEF-Ed. SCPA, Aspach le Bas*.
- Calvet, R., 2013. Le sol. Paris: Ed. France Agricole. 678
- CASDAR., 2011. Améliorer l'efficacité Agro-environnementale des Systèmes Agroforestiers. Agroof Développement. 60 p.
- Chang, E.H., Chen, T.H., Tian, G. et al. (2016). The effect of altitudinal gradient on soil microbial community activity and structure in moso bamboo plantations. *Applied Soil Ecology*, 98, 213-220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.018>
- Chaussod, R., Nicolardot, B., Catroux, G. (1986). Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du sol*, 2, 201-211.
- Chaussod, R., Nicolardot, e. B. (1982). Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. I. Approche cinétique et estimation simplifiée du carbone facilement minéralisable. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*.
- 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. *Cah. Orstom (Série Pédol.)*, 27, 59-67.
- Chauvel, A. (1977). *Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées*: Office de la recherche scientifique et technique outre-mer.

- Chen, C. R., Xu, Z. H., Blumfield, T. J. et al. (2003). Soil microbial biomass during the early establishment of hoop pine plantation: seasonal variation and impacts of site preparation. *Forest ecology and management*, 186(1), 213-225. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00275-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00275-5)
- Chenu, C. (1993). Clay—or sand—polysaccharide associations as models for the interface between micro-organisms and soil: water related properties and microstructure. In : Soil Structure/Soil Biota Interrelationships. Elsevier, 143-156.
- Chretien, J., Pedro, G. Meunier, D., (1987). Granulométrie, porosité et spectre poral de sols développés sur formations détritiques Cas des terrasses alluviales de la Saône. XXIII(1). 43-54p.
- Clark, K., Chantigny, M. H., Angers, D. A. et al. (2009). Nitrogen transformations in cold and frozen agricultural soils following organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(2), 348-356.
- Clément, M., Lozet, J. (2011). Dictionnaire encyclopédique des sciences du sol. *Edition TEC & DOC*. 733p.
- Cook, F. J., Orchard, V. A. (2008). Relationships between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(5), 1013-1018.
- Corre, M. D., Schnabel, R. R., Stout, W. L. (2002). Spatial and seasonal variation of gross nitrogen transformations and microbial biomass in a Northeastern US grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(4), 445-457.
- Curtis, T. P., Sloan, W. T., Scannell, J. W. (2002). Estimating prokaryotic diversity and its limits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(16), 10494-10499.
- Dajoz, R. (1972). Précis d'écologie. *Revue Géographique de l'Est Année*, 12-4, 445.
- Dang, P., Yu, X., Le, H. et al. (2017). Effects of stand age and soil properties on soil bacterial and fungal community composition in Chinese pine plantations on the Loess Plateau. *PloS one*, 12(10), e0186501.
- Davet, P. 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. Editions Quae.
- Davidson, E. A., Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440(7081), 165.
- De Neve, S., Hofman, G. (2000). Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues. *Biology and Fertility of Soils*, 30(5-6), 544-549.

- Dellal, A., Halitim, A. (1992). Activités microbiologiques en conditions salines: cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie). *Cahiers agricultures*, 1(5), 335-340 (331).
- Dequiedt, S., Thioulouse, J., Jolivet, C. et al. (2009). Biogeographical patterns of soil bacterial communities. *Environmental microbiology reports*, 1(4), 251-255.
- Djebaili, S. (1983). Carte de l'occupation des terres, carte pastorale de l'Algérie, notice: Biocénoses.
- Djigal, D., 2003. Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les nématodes bactéricivores: effets sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes.
- Dommergues, Y., Mangenot, F. (1970). Ecologie microbienne du sol: Masson.
- Dreux, P. 1980. précis d'écologie. paris: Presse universitaire de France. 231p.
- Duchaufour, P., 2001. Introduction à la science du sol : sol,végétation, environnement.Paris : Dunod. 331 p.
- Dunfield, K. E., Germida, J. J. (2003). Seasonal changes in the rhizosphere microbial communities associated with field-grown genetically modified canola (*Brassica napus*). *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(12), 7310-7318.
- Edwards, A., Killham, K. (1986). The effect of freeze/thaw on gaseous nitrogen loss from upland soils. *Soil Use and Management*, 2(3), 86-91.
- Emberger L., 1942. Un projet de classification des climats de point de vue phytogéographique. *Bull. soc. Hist.Nat. Toulouse*, 77 : 97- 124.
- Emberger, J., 1960. Esquisse géologique de la partie orientale des Monts des Ouled Nail (Atlas saharien, Algérie). Algérie Nlle série Bull n°7: carte Géo.
- Emberger, J., (1955). Une classification biogéographique des climats. *Trav. Lab. Bot. Zoo[. Fas. Sc. Montpellier*, 7, 3 -43.
- Fardoux, J., Fernandes, P., Niane-Badiane, A. et al. (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. *Etude et Gestion des sols*, 7(4), 385-394.
- Faurie C., Ferra C., Medori. P. 1980. Ecologie. Paris: Baillièrre J.B. 1091p.
- Federle, T. W., Ventullo, R. M., White, D. C. (1990). Spatial distribution of microbial biomass, activity, community structure, and the biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) and linear alcohol ethoxylate (LAE) in the subsurface. *Microbial ecology*, 20(1), 297-313.

- Fierer, N., Bradford, M. A., Jackson, R. B. (2007). Toward an ecological classification of soil bacteria. *Ecology*, 88(6), 1354-1364.
- Fierer, N., Jackson, R. B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(3), 626-631.
- Focht, D., Martin, J. (1979). Microbiological and biochemical aspects of semi-arid agricultural soils *Agriculture in Semi-Arid Environments*. Springer, 119-147.
- Frey, S., Elliott, E., Paustian, K. (1999). Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(4), 573-585.
- Frontier, S., Pichod-Viale, D. (1995). Théorie des écosystèmes: structure, fonctionnement, évolution. Paris, Masson. *Collection d'écologie*, 21, 287-311.
- Frouz, J. (2017). Effects of Soil Development Time and Litter Quality on Soil Carbon Sequestration: Assessing Soil Carbon Saturation with a Field Transplant Experiment along a Post-mining Chronosequence. *Land degradation & development*, 28(2), 664-672.
- Gans, J., Wolinsky, M., Dunbar, J. (2005). Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science*, 309(5739), 1387-1390.
- Gausson H, B. F. (1953). Saison sèche et indice xerothermique., 47.
- Geisseler, D., Horwath, W. R. (2009). Relationship between carbon and nitrogen availability and extracellular enzyme activities in soil. *Pedobiologia*, 53(1), 87-98.
- Giller, K. E., Witter, E., McGrath, S. P. (2009). Heavy metals and soil microbes. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(10), 2031-2037.
- Girard, M.C., Walter, C., Rémy J-C. et al., 2005. Sols et environnement. Paris: Dunod. 816.
- Girvan, M. S., Bullimore, J., Pretty, J. N. et al. (2003). Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(3), 1800-1809.
- Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, W. 2010. Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols (Vol. 14): PPUR Presses polytechniques. 844 p.
- Gómez-Hernández, A., Otero, Y. F., de las Heras, N. et al. (2012). Brown fat lipotrophy and increased visceral adiposity through a concerted adipocytokines overexpression induces vascular insulin resistance and dysfunction. *Endocrinology*, 153(3), 1242-1255.
- Goodfellow, M., Williams, S. (1983). Ecology of actinomycetes. *Annual Reviews in Microbiology*, 37(1), 189-216.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G. et al. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1-4), 17-35.

- Griffiths, R. I., Thomson, B. C., James, P. et al. (2011). The bacterial biogeography of British soils. *Environmental microbiology*, 13(6), 1642-1654.
- Guiraud, R. (1973). *Evolution post-triasiques de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines*. Thèse sciences univ de Nice.
- Gunapala, N., Scow, K. (1998). Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(6), 805-816.
- Guo-Mei, J., Zhang, P.-D., Gang, W. et al. (2010). Relationship between microbial community and soil properties during natural succession of abandoned agricultural land. *Pedosphere*, 20(3), 352-360.
- Gupta, P., Diwan, B. (2017). Bacterial exopolysaccharide mediated heavy metal removal: a review on biosynthesis, mechanism and remediation strategies. *Biotechnology Reports*, 13, 58-71.
- Hadjab, M. (1998). *Aménagement et protection des milieux naturels dans la cuvette centrale du Hodna (Algérie)*. Thèse de doctorat : Milieux physiques méditerranéens. France : université d'Aix-Marseille, 238p.
- Halitim, A., 1988. *Sols des régions arides d'Algérie*. Alger: Office des publications universitaires.
- Hamel, C., Hanson, K., Selles, F. et al. (2006). Seasonal and long-term resource-related variations in soil microbial communities in wheat-based rotations of the Canadian prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2104-2116.
- Hassink, J. (1994). Effect of soil texture on the size of the microbial biomass and on the amount of C and N mineralized per unit of microbial biomass in Dutch grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(11), 1573-1581.
- Hassink, J., Bouwman, L., Zwart, K. et al. (1993). Relationships between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(1), 47-55.
- Hénault, C., Germon, J. (1995). Quantification de la dénitrification et des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) par les sols. *Agronomie*, 15(6), 321-355.
- Henriksen, T., Breland, T. (1999). Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(8), 1121-1134.
- Herrmann, A., Witter, E. (2002). Sources of C and N contributing to the flush in mineralization upon freeze-thaw cycles in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(10), 1495-1505.

- Hesse, P. R., Hesse, P. 1971. A textbook of soil chemical analysis.
- Houlden, A., Timms-Wilson, T. M., Day, M. J. et al. (2008). Influence of plant developmental stage on microbial community structure and activity in the rhizosphere of three field crops. *FEMS microbiology ecology*, 65(2), 193-201.
- Huber G., Schaub C., 2011. la fertilité des sols : L'importance de la matière organique Chambre d'agriculture du Bas-Rhin. 46p
- Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M. et al. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. *Advances in agronomy*, 102, 159-200.
- Insam, H. (1990). Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? *Soil Biology and Biochemistry*, 22(4), 525-532.
- Inubushi, K., Brookes, P., Jenkinson, D. (1991). Soil microbial biomass C, N and ninhydrin-N in aerobic and anaerobic soils measured by the fumigation-extraction method. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(8), 737-741.
- ISO. 2015. Norme NF ISO 11074 Qualité du sol – Vocabulaire.
- Institut de technologie agricole., 1977. Laboratoire du sol. Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol. 3Ed.I.T.A. Mostaganem. 105p.
- Jangid, K., Williams, M. A., Franzluebbers, A. J. et al. (2010). Development of soil microbial communities during tallgrass prairie restoration. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(2), 302-312.
- Janvier, C., Villeneuve, F., Alabouvette, C. et al. (2007). Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology and Biochemistry*, 39(1), 1-23.
- Jenkinson, D., Powlson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8(3), 209-213.
- Jensen, L. E., Nybroe, O. (1999). Nitrogen availability to *Pseudomonas fluorescens* DF57 is limited during decomposition of barley straw in bulk soil and in the barley rhizosphere. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65(10), 4320-4328.
- Jensen, L. S., McQueen, D. J., Ross, D. J. et al. (1996). Effects of soil compaction on N-mineralization and microbial-C and -N. II. Laboratory simulation. *Soil and Tillage Research*, 38(3), 189-202. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01034-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01034-3)

- Job, J.O., Barrios, J.-L. G., Gonzales, M. R. (1997). étermination précise de la salinité des sols par conductivimétrie électromagnétique. *CENID RASPA/ORSTOM, Programme de recherche sur la dynamique des sels dans la Comarca Lagunera, AP*, 225-223.
- Joret, G., Hébert, J. (1955). Contribution à la détermination du besoin des sols en acide phosphorique. *Ann. agron*, 2, 233-299.
- Josephson, K. L., Gerba, C. P., Pepper, I. (2000). Cultural methods. *Environmental microbiology*, 220.
- Kadi, A. (1997). La gestion de l'eau en Algérie. *Hydrological sciences journal*, 42(2), 191-197.
- Kadi-Hanifi, H. (1998). L'alfa en Algérie: syntaxonomie, relation milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse de doctorat. Alger : université des sciences et de la technologie Houari Boumédiène d'Alger.
- Kadi-Hanifi-Achour, H. (2004). Diagnostic phytosociologique et phytoécologique des formations à Alfa en Algérie: Proposition de gestion. *Cahiers Options Méditerranéennes*(62), 227-231.
- Kanazawa, S., Filip, Z. (1986). Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soil. *Microbial ecology*, 12(2), 205-215.
- Karabi, M. (2016). Fonctionnement microbiologique des sols oasiens. Cas de quelques sils de la région de Ouergla.. Thèse de doctorat : Science agronomique. Algérie : Université de Ouargla, 215p.
- Kareem H, H., Wisam M A., Firas W. A. (2016). Study of Microbial Biomass activity in Saline Soils. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences January*, 7(1), 390-395
- Kaschuk, G., Alberton, O., Hungria, M. (2010). Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(1), 1-13.
- Kaštovská, K., Elster, J., Stibal, M., & Šantrůčková, H. (2005). Microbial assemblages in soil microbial succession after glacial retreat in Svalbard (High Arctic). *Microbial ecology*, 50(3), 396.
- Kaštovská, K., Stibal, M., Šabacká, M. et al. (2007). Microbial community structure and ecology of subglacial sediments in two polythermal Svalbard glaciers characterized by epifluorescence microscopy and PLFA. *Polar Biology*, 30(3), 277-287.
- Kätterer, T., Reichstein, M., Andrén, O. et al. (1998). Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biology and Fertility of Soils*, 27(3), 258-262.

- Kechidi, S., Bourahla, N., Castro, J. M. (2017). Seismic design procedure for cold-formed steel sheathed shear wall frames: Proposal and evaluation. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 219-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.08.018>
- Khalil, K. (2003). Emissions de N₂O par nitrification et dénitrification à l'échelle de la motte de sol : effet de la structure du sol, de l'aération et des activités microbiennes [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la Terre. Paris : université de Paris 6. 226p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00008117/>.
- Khelil, A. (1997). *L'écosystème steppique : Quel avenir ?* (Dahleb ed.). Alger. .
- Kidanemariam, A., Gebrekidan, H., Mamo, T. et al. (2012). Impact of altitude and land use type on some physical and chemical properties of acidic soils in Tsegede Highlands, Northern Ethiopia. *Open Journal of Soil Science*, 2(03), 223.
- Knorr, W., Prentice, I. C., House, J. et al. (2005). Long-term sensitivity of soil carbon turnover to warming. *Nature*, 433(7023), 298.
- Lame, B., Abdelkader, D., Yahia, B. (2016). Effect of Salinity on Microbial Biomass Behaviour. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 6(10), 115-120.
- Larpent, J.P., Sanglier, J. J., 1989. Biotechnologie des antibiotiques. Masson.
- Lauber, C. L., Hamady, M., Knight, R. et al. (2009). Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Appl. Environ. Microbiol.*, 75(15), 5111-5120.
- Lavelle, P., Spain, A. (2001). *Soil ecology*: Springer Science & Business Media.
- Lechevalier, H. A., Lechevalier, M. P. (1967). Biology of actinomycetes. *Annual Reviews in Microbiology*, 21(1), 71-100.
- Le Houerou, H. (1977). Plant sociology and ecology applied to grazing lands research, survey and management in the Mediterranean Basin Application of Vegetation Science to Grassland Husbandry. Springer, 211-274.
- Le Houérou, H. N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertisation [En ligne].Thèse de doctorat. Montpellier Paris : CIHEAM ; ACCT. Disponible sur: <http://worldcat.org/z-wcorg/database>.
- Li, C., Ma, B., Zhang, T. (2002). Soil bulk density effects on soil microbial populations and enzyme activities during the growth of maize (*Zea mays* L.) planted in large pots under field exposure. *Canadian Journal of Soil Science*, 82(2), 147-154.

- Liu, Y., Zhang, J., Zhang, X. et al. (2014). Depth-related changes of sediment ammonia-oxidizing microorganisms in a high-altitude freshwater wetland. *Applied microbiology and biotechnology*, 98(12), 5697-5707.
- Lucy, M., Reed, E., Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van leeuwenhoek*, 86(1), 1-25.
- Lugtenberg, B., Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual review of microbiology*, 63, 541-556.
- Luizao, R. C., Bonde, T. A., Rosswall, T. (1992). Seasonal variation of soil microbial biomass—the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the Central Amazon. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(8), 805-813.
- Lundquist, E., Jackson, L., Scow, K. et al. (1999). Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of rye into three California agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(2), 221-236.
- Madigan, M., Martinko, J. 2007. Brock Biologie des micro-organismes. France : Edition Pearson Education.
- Mahne, I., Tiedje, J. M. (1995). Criteria and methodology for identifying respiratory denitrifiers. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61(3), 1110-1115.
- Maier, R. M., Pepper, I. L., Gerba, C. P., 2009. Environmental microbiology. Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
- Mareschal, L. (2008). Effect of tree species on soils and soil minerals changes : balance sheet of the Breuil experimental forest site after 28 years (Morvan, France) [En ligne]. Thèse de doctorat. France: Université Henri Poincaré - Nancy 1. Disponible sur : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748445> Univ-lorraine Theses-ul database. (2008NAN10051)
- Margesin, R., Jud, M., Tschërko, D. et al. (2009). Microbial communities and activities in alpine and subalpine soils. *FEMS microbiology ecology*, 67(2), 208-218.
- Margesin, R., Schinner, F., Marx, J. C. et al. (2008). Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology: Springer.
- Mariat, F., Sebald, M. (1990). Les actinomycètes. *Leminor L. Bactériologie*.
- Martens, R. (1995). Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. *Biology and Fertility of Soils*, 19(2-3), 87-99.
- Mathieu, C., Pieltain, F., Jeanroy, E. (2003). Analyse chimique des sols: Méthodes choisies: Tec & doc.
- Maurel, M.C. 1994. Les origines de la vie. Syros Paris.

- Mermound, A. (2010). *Cours de physique du sol*. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, Ouagadougou & Lausanne.
- Mimeche, F. (2014). Ecologie du Barbeau de L'Algérie, *Luciobarbus callensis* (Valenciennes, 1842) (Pisces: Cyprinidae) dans le barrage D'El K'sob (M'Sila). Thèse Doctorat : Science Agronomiques. Alger : Ecole Nationale Supérieure Agronomique–EL-Harrach Alger, 80p.
- Mokrane, S., Bouras, N., Sabaou, N. et al. (2013). Actinomycetes from saline and non-saline soils of Saharan palm groves: Taxonomy, ecology and antagonistic properties. *African Journal of Microbiology Research*, 7(20), 2167-2178.
- Moradi, A., Tahmourespour, A., Hoodaji, M. et al. (2011). Effect of salinity on free living-diazotroph and total bacterial populations of two saline soils. *African Journal of Microbiology Research*, 5(2), 144-148.
- Morel, R., 1989. *Les soils cultivés*: Lavoisier.
- Moureaux, C. (1967). Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols ouest-africains. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol*, 5(4), 393-420.
- Müller, A., Westergaard, K., Christensen, S., Sørensen, S. J. (2002). The diversity and function of soil microbial communities exposed to different disturbances. *Microbial ecology*, 44(1), 49-58.
- Müller, C., Martin, M., Stevens, R. et al. (2002). Processes leading to N₂O emissions in grassland soil during freezing and thawing. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(9), 1325-1331.
- Müller, T., Höper, H. (2004). Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(6), 877-888.
- Nedjimi, B., Beladel, B., Guit, B. (2012). Biodiversity of halophytic vegetation in Chott Zehrez lake of Djelfa (Algeria). *American Journal of Plant Sciences*, 3(11), 1527.
- Nedjimi, B., Homida, M. (2006). Problématique des zones steppiques algériennes et perspectives d'avenir.
- Nedjraoui, D. (2002). Les ressources pastorales en Algérie. *Doc FAO en ligne: www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algerie.htm*.
- Nemouchi, A. (2001). Géographie hydrologique du bassin versant endoreique du Chott El Hodna. Thèse de doctorat. Algérie : Université de Constantine.
- Niane-Badianea, A., Ganryb, F., Jacquinc, F. (1999). Les variations au champ de la biomasse microbienne d'un sol cultivé: conséquences sur la réserve organique mobilisable (cas d'un

- sol ferrugineux tropical au Sénégal). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 328(1), 45-49.
- Olson, B., Lindwall, C. (1991). Soil microbial activity under chemical fallow conditions: effects of 2, 4-D and glyphosate. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(11), 1071-1075.
- Olsson, S., Alström, S. (2000). Characterisation of bacteria in soils under barley monoculture and crop rotation. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(10), 1443-1451.
- Omar, S., Abdel-Sater, M., Khallil, A., Abd-Alla, M. (1994). Growth and enzyme activities of fungi and bacteria in soil salinized with sodium chloride. *Folia Microbiologica*, 39(1), 23-28.
- Oulbachir, K. (2010). Ecologie microbienne des sols sous différents compartiments Granulométriques et différents étages bioclimatiques. Thèse de doctorat : Ecopédologie. Algérie : université d'Oran. 114p.
- Ozenda, P., 1982. Les Végétaux dans la Biosphere. Doin Editeurs.
- Paccard, E. (1995). Dénitrification biologique d'effluents industriels à fortes concentrations en nitrates [En ligne]. Thèse de doctorat : Biologie cellulaire et microbiologie. Marseille : Université de Aix- Marseille 1. Disponible sur : <http://worldcat.org/z-wcorg/database>.
- Parent, M. E., Velegol, D. (2004). E. coli adhesion to silica in the presence of humic acid. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 39(1-2), 45-51.
- Pathak, H., Rao, D. (1998). Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(6), 695-702.
- Pelczar, M. J., Chan, E. C. S., 1982. Éléments de microbiologie. Montréal: HRW.
- Pelletier, F. (1992). Impact de différentes pratiques culturales sur la persistance de l'herbicide atrazine et sur la biomasse microbienne du sol. Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
- Perry, J., Staley, J., Lory, S. (2004). Microbiologia traduzione Italiana della 1edizione americana.
- Philippot, L., Spor, A., Hénault, C., et al. (2013). Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. *The ISME journal*, 7(8), 1609.
- Pietikäinen, J., Fritze, H. (1995). Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: Comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(1), 101-109. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00125-K](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00125-K)
- Pochon J., 1954. Manuel technique d'analyse microbiologique du sol [Technical Manual of microbiological soil analysis]. (Eds.), Masson, Paris, 123p

- Polemio, M., Rhoades, J. (1977). Determining Cation Exchange Capacity: A New Procedure for Calcareous and Gypsiferous Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 41(3), 524-528.
- Polonenko, D. R., C.I. Mayfield, E.B. Dumbroff. (1986). Microbial responses to salt-induced osmotic stress. *Plant Soil*, 92, 417-425.
- Pousset, J., 2002. Engrais verts et fertilité des sols. France : Agricole Editions.
- Powlson, D. S. (1996). Why evaluate soil organic matter models? *Evaluation of Soil Organic Matter Models* (pp. 3-11): Springer.
- Qiu, L., Zhang, X., Cheng, J. et al. (2010). Effects of black locust (*Robinia pseudoacacia*) on soil properties in the loessial gully region of the Loess Plateau, China. *Plant and Soil*, 332(1-2), 207-217.
- Quézel, P. 1957. Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Paris: Lechevalier. 493p.
- Rajab, A., Dody, S., Hukom, F. (1992). Komunitas Ikan di Padang Lamun Perairan Passo, Teluk Baguala (pp. 39-46): Balai Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut. Pusat Penelitian dan.
- Ragab, M. (1993). Distribution pattern of soil microbial population in salt-affected soils *Towards the rational use of high salinity tolerant plants* (pp. 467-472): Springer.
- Ramade, F. (1984). Effet d'une pollution chronique des eaux continentales sur la structure d'un peuplement, Séminaire «Connectivité, Stabilité, Complexité» du Laboratoire de Dynamique des Réseaux, CESTA, 16-3-1984, Paris.
- Ramade, F., 1993. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris: Ediscience international.
- Ramdane, M. (2001). Agro-pedological studies in Algeria. *Soil resources of Southern and Eastern Mediterranean countries. CIHEAM Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, 91-100.
- Ranjard, L., Poly, F., Nazaret, S. (2000). Monitoring complex bacterial communities using culture-independent molecular techniques: application to soil environment. *Research in microbiology*, 151(3), 167-177.
- Ranjard, L., Richaume, A. (2001). Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil. *Research in microbiology*, 152(8), 707-716.
- Recous, S., Robin, D., Darwis, D. et al. (1995). Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(12), 1529-1538.

- Rengel, Z. (2002). Role of pH in availability of ions in soil. *Handbook of plant growth. pH as a master variable in plant growth. Marcel Dekker, New York*, 323-350.
- Richards, L., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook. Washington : US Department of agriculture.
- Rietz, D. N., Haynes, R. J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 845-854. doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1).
- Robert, M. (1992). Le sol, ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahiers agricultures*, 1(1), 20-34.
- Roger, P., Garcia, J. (2001). Introduction à la microbiologie du sol. Polycopié de cours Université de Provence, Ecole supérieure d'ingénieurs de Luminy, France. 192p.
- Rui, J., Peng, J., Lu, Y. (2009). Succession of bacterial populations during plant residue decomposition in rice field soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 75(14), 4879-4886.
- Sabaou, N., Boudjella, H., Bennadji, A. et al. (1998). Les sols des oasis du Sahara algérien, source d'actinomycètes, rares producteurs d'antibiotiques. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 9(2), 147-153.
- Sabaou, N., Hacène, H., Bennadji, A. et al. (1992). Distribution quantitative et qualitative des actinomycètes dans les horizons de sol de surface et profonds d'une palmeraie algérienne. *Canadian Journal of Microbiology*, 38(10), 1066-1073.
- Sabaté, S., Gracia, C. A., Sánchez, A. (2002). Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest ecology and management*, 162(1), 23-37.
- Sarathchandra, S., Perrott, K., Upsdell, M. (1984). Microbiological and biochemical characteristics of a range of New Zealand soils under established pasture. *Soil Biology and Biochemistry*, 16(2), 177-183.
- Saravanakumar, K., Anburaj, R., Gomathi, V. et al. (2016). Ecology of soil microbes in a tropical mangrove forest of south east coast of India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 8, 73-85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.08.010>
- Sasson, A., 1967. Recherches écophysiological sur la flore bactérienne de sols de régions arides du Maroc: Travaux de l'institut scientifique cherifien et de la faculté des sciences.
- Savorin, J., 1920. Etude géologique de la région du Hodna et du plateau sétifien. Bull Serv.
- Schimel, J., Schaeffer, S. M. (2012). Microbial control over carbon cycling in soil. *Frontiers in microbiology*, 3, 348.

- Schmalenberger, A., Schwieger, F., Tebbe, C. C. (2001). Effect of primers hybridizing to different evolutionarily conserved regions of the small-subunit rRNA gene in PCR-based microbial community analyses and genetic profiling. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(8), 3557-3563.
- Senoussi, A., Hadbaoui, I., Huguenin, J. (2014). L'espace pastoral dans la région de M'sila, Algérie: état et perspectives de réhabilitation. *Livestock Research for Rural Development*, 26(11), 1-11.
- Servant, J. (1975). Etude expérimentale des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques. *Science du sol*, 85 - 105.
- Sessitsch, A., Weilharter, A., Gerzabek, M. H. et al. (2001). Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(9), 4215-4224.
- Sheng, G.P., Xu, J., Li, W.H. et al. (2013). Quantification of the interactions between Ca²⁺, Hg²⁺ and extracellular polymeric substances (EPS) of sludge. *Chemosphere*, 93(7), 1436-1441.
- Silva, J. D., Leal, T. T., Araújo, A. S., et al. (2010). Effect of different tannery sludge compost amendment rates on growth, biomass accumulation and yield responses of Capsicum plants. *Waste Management*, 30(10), 1976-1980.
- Singh, K. (2016). Microbial and Enzyme Activities of Saline and Sodic Soils. *Land degradation & development*, 27(3), 706-718. doi: 10.1002/ldr.2385
- Singleton, P., El Swaify, S., Bohlool, B. (1982). Effect of salinity on Rhizobium growth and survival. *Appl. Environ. Microbiol.*, 44(4), 884-890.
- Sizmur, T., Hodson, M. E. (2009). Do earthworms impact metal mobility and availability in soil?—A review. *Environmental pollution*, 157(7), 1981-1989.
- Smalla, K., Wieland, G., Buchner, A. et al. (2001). Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(10), 4742-4751.
- Society for Applied, M. (1999). Environmental microbiology. From <http://resolver.lrc.macewan.ca/macewan?url%5Fver=Z39.88-2004&ctx%5Fver=Z39.882004&ctx%5Fenc=info:ofi/enc:UTF8&rfr%5Fid=info:sid/sfxit.com:opac%5F856&url%5Fctx%5Ffmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:ctx&sfx.ignore%5Fdate%5Fthreshold=1&rft.object%5Fid=959328105031&svc%5Fval%5Ffmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:sch%5Fsvc&>
- Soltner. (2005). *Les bases de production végétale* (24 ed.). Paris.

- Soltner, D. 2000. Les basses des productions végétales: le sol et son amélioration (Tome I, 22^{ème} édition ed.). France: Les collections sciences et techniques agricoles
- Sørensen, P., Jensen, E. S. (1995). Mineralization of carbon and nitrogen from fresh and anaerobically stored sheep manure in soils of different texture. *Biology and Fertility of Soils*, 19(1), 29-35.
- Souchier, B., Bonneau, M. (1979). *Pédologie: Constituants et propriétés du sol/par Maurice Bonneau et Bernard Souchier; avec la collaboration de F. Andreux, J. Berthelin, R. Blanchet et al.* Masson.
- Sparling G. P., Shepherd T.G., Kettles H. A. (1992). Changes in soil organic C, microbial C and aggregate stability under continuous maize and cereal cropping, and after restoration to pasture in soils from the Manawatu region, New Zealand. *Soil and Tillage Research*, 24(3), 225-241.
- Starr, R. C., Gillham, R. W. (1993). Denitrification and organic carbon availability in two aquifers. *Groundwater*, 31(6), 934-947.
- Stewart Ph. (1969). Quotient pluviothermique et dégradation de la biosphère. Quelques réflexions. *Bull.Soc. His.Nat de l'Afrique du Nord*. 59, 23-37.
- Steenwerth, K., Drenovsky, R., Lambert, J.J. et al. (2008). Soil morphology, depth and grapevine root frequency influence microbial communities in a Pinot noir vineyard. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(6), 1330-1340.
- Stolp, H. 1988. *Microbial ecology: organisms, habitats, activities.* Cambridge University Press.
- Swift, M., Andren, O., Brussaard, L. et al. (1998). Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology*, 4(7), 729-743.
- Tan, X., Chang, S. X., Kabzems, R. (2005). Effects of soil compaction and forest floor removal on soil microbial properties and N transformations in a boreal forest long-term soil productivity study. *Forest ecology and management*, 217(2), 158-170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.061>
- Tan, X., Chang, S. X., Kabzems, R. (2008). Soil compaction and forest floor removal reduced microbial biomass and enzyme activities in a boreal aspen forest soil. *Biology and Fertility of Soils*, 44(3), 471-479. doi: 10.1007/s00374-007-0229-3
- Tarlera, S., Jangid, K., Ivester, A. H. et al. (2008). Microbial community succession and bacterial diversity in soils during 77 000 years of ecosystem development. *FEMS microbiology ecology*, 64(1), 129-140.

- Tatar, H. (1985). Les Milieux et l'Occupation du Sol dans le Bassin Versant du K'sob. Thèse de Doctorat. France : Université de Caen. 106p.
- Taylor, L. A., Arthur, M. A., Yanai, R. D. (1999). Forest floor microbial biomass across a northern hardwood successional sequence. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(3), 431-439. doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00148-5)
- Thorn, G. (1997). The fungi in soil. *Modern soil microbiology*, 63-127.
- Topaloğlu, E., AY, N., Altun, L., Serdar, B. (2016). Effect of altitude and aspect on various wood properties of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(3), 397-406.
- Torsvik, V., Goksøyr, J., Daae, F. L. (1990). High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56(3), 782-787.
- Väisänen, R., Roberts, M., Garland, J. et al. (2005). Physiological and molecular characterisation of microbial communities associated with different water-stable aggregate size classes. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(11), 2007-2016.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 703-707.
- Vekemans, X., Godden, B., Penninckx, M. (1989). Factor analysis of the relationships between several physico-chemical and microbiological characteristics of some Belgian agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(1), 53-58.
- Voroney, R. P. (2007). The soil habitat Soil microbiology, ecology and biochemistry. Elsevier. 25-49
- Wakelin, S., Macdonald, L., Rogers, S. et al. (2008). Habitat selective factors influencing the structural composition and functional capacity of microbial communities in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(3), 803-813.
- Wang, H., Yang, S.-h., Yang, J.-p. et al. (2014). Temporal changes in soil bacterial and archaeal communities with different fertilizers in tea orchards. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 15(11), 953-965. doi: 10.1631/jzus.B1400114
- Wang, J.T., Zheng, Y.M., Hu, H.W. et al. (2015). Soil pH determines the alpha diversity but not beta diversity of soil fungal community along altitude in a typical Tibetan forest ecosystem. *Journal of Soils and Sediments*, 15(5), 1224-1232.
- Wardle, D. (1992). A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological reviews*, 67(3), 321-358.
- Watson S. W. (1971). Reisolation of *Nitrosospira briensis* S. Winogradsky and H. Winogradsky 1933. *Arch. Microbiol*, 75, 179-188.

- Wieland, G., Neumann, R., Backhaus, H. (2001). Variation of microbial communities in soil, rhizosphere, and rhizoplane in response to crop species, soil type, and crop development. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(12), 5849-5854.
- Wild, A. 1993. *Soils and the Environment*: Cambridge University Press.
- Williams, S., Davies, F., Mayfield, C. et al. (1971). Studies on the ecology of actinomycetes in soil II. The pH requirements of streptomycetes from two acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 3(3), 187-195.
- Williams, S., Wellington, E. (1982). Actinomycetes. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*(methodsofsoilan2), 969-987.
- Winogradski, S. (1949). Contribution à la morphologie et à la physiologie des sulfo-bactéries (1888). *Microbiologie du So*), *Oeuvres Complètes, Masson et Cie., Paris*, 83-126.
- Wu, J., Joergensen, R., Pommerening, B. et al. (1990). Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-an automated procedure. *Soil Biology & Biochemistry*, 22(8), 1167-1169.
- Yang, J., Jin, Z.B., Chen, J. et al. (2017). Genetic signatures of high-altitude adaptation in Tibetans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(16), 4189-4194.
- Yuan, B.-C., Li, Z.-Z., Liu, H., Gao, M., Zhang, Y.-Y. (2007). Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology*, 35(2), 319-328.
- Yuan, T., Wang, J., Cai, X. et al. (2014). Investigation of the seasonal and local time variations of the high-altitude sporadic Na layer (Nas) formation and the associated midlatitude descending E layer (Es) in lower E region. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 119(7), 5985-5999.
- Zaitlin, B., Watson, S. B., Ridal, J., Satchwill, T. et al. (2003). Actinomycetes in Lake Ontario: habitats and geosmin and MIB production. *Journal-American Water Works Association*, 95(2), 113-118.
- Zak, J. C., Willig, M. R., Moorhead, D. L. et al. (1994). Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(9), 1101-1108.
- Zinger, L. (2009). Variations spatio-temporelle de la microflore des sols alpins. Thèse de doctorat. Université Joseph-Fourier-Grenoble I.

Annexes

Annexe 1

Fréquence des divers genres d'actinomycètes dans le sol d'après l'étude de 5000 échantillons issus de 16 sols différents (Lechevalier et Lechevalier, 1967).

Genre	Pourcentage
<i>Streptomyces</i>	95,34
<i>Nocardia</i>	1,98
<i>Micromonospora</i>	1,4
<i>Thermomonospora</i>	0,22
<i>Actinoplanes</i>	0,20
<i>Microbispora</i>	0,18
<i>Mycobacterium</i>	0,14
<i>Streptosporangium</i>	0,10
<i>Actinomadura</i>	0,10
<i>Micropolyspora</i>	0,10
<i>Pseudonocardia</i>	0,06
<i>Microellobosporia</i>	0,04

Annexe 2

La liste des mammifères recensée dans le Oued et le barrage El K'sob (Bensaci, 2010).

Nom commun	Nom scientifique
Chat sauvage	<i>Felis silvestris lybica</i> Forster, 1770
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i> (Linnaeus, 1758)
Renard famélique	<i>Vulpes rueppellii</i> Schinz, 1825
Chacal doré	<i>Canis aureus</i> Linnaeus, 1758
Sanglier	<i>Sus scrofa</i> Linnaeus, 1758
Lièvre du cap	<i>Lepus capensis</i> Linnaeus, 1758
Hérisson d'Algérie	<i>Atelerix algirus</i> (Lereboullet, 1842)
Porc-épic à crête	<i>Hystrix cristata</i> Linnaeus, 1758
Hyène rayé	<i>Hyaena hyaena</i> (Linnaeus, 1758)
Rat noir	<i>Rattus rattus</i> (Linnaeus, 1758)
Rat des sables	<i>Psammomys obesus</i> Cretzschmar, 1828
Gerbille champêtre	<i>Gerbillus campestris</i> (Loche, 1867)
Gerbille pygmé	<i>Gerbillus henleyi</i> (de Winton, 1903)
Grande gerboise	<i>Jaculus orientalis</i> Erxleben, 1777
Petit gerbille à queue courte	<i>Gerbillus simoni</i> Lataste, 1881
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i> (Fischer, 1829)
Souris grise	<i>Mus musculus</i> Linnaeus, 1758
Chat sauvage	<i>Felis silvestris lybica</i> Forster, 1770
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i> (Linnaeus, 1758)

La liste des Oiseaux aquatiques recensée dans le barrage El K'sob (Bensaci et al., 2010).

Nom commun	Nom scientifique
Poule d'eau	<i>Gallinula chloropus</i> (Linnaeus, 1758)
Foulque macroule	<i>Fulica atra</i> Linnaeus, 1758

Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i> (Linnaeus, 1758)
Canard souchet	<i>Anas clypeata</i> Linnaeus, 1758
Canard pilet	<i>Anas acuta</i> Linnaeus, 1758
Sarcelle d'hiver	<i>Anas crecca</i> Linnaeus, 1758
Canard siffleur	<i>Anas penelope</i> Linnaeus, 1758
Tadorne de Belon	<i>Tadorna tadorna</i> (Linnaeus, 1758)
Fuligule morillon	<i>Aythya fuligula</i> (Linnaeus, 1758)
Grand corbeau	<i>Corvus corax</i> Linnaeus, 1758
Grue cendrée	<i>Grus grus</i> (Linnaeus, 1758)
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i> (Linnaeus, 1758)
Spatule blanche	<i>Platalea leucorodia</i> Linnaeus, 1758
Grèbe huppé	<i>Podiceps cristatus</i> (Linnaeus, 1758)
Grèbe castagneux	<i>Tachybaptus ruficollis</i> (Pallas, 1764)
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i> Linnaeus, 1758
Héron garde-boeufs	<i>Bubulcus ibis</i> (Linnaeus, 1758)
Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i> (Linnaeus, 1766)
Grande aigrette	<i>Ardea alba</i> (Linnaeus, 1758)
Chevalier aboyeur	<i>Tringa nebularia</i> (Gunnerus, 1767)
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i> (Linnaeus, 1758)
Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i> (Linnaeus, 1758)
Chevalier arlequin	<i>Tringa erythropus</i> (Pallas, 1764)
Gravelot (Pluvier) à collier interrompu	<i>Charadrius alexandrinus</i> Linnaeus, 1758
Goéland leucophée	<i>Larus michahellis</i> Naumann, 1840
Grand cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i> (Linnaeus, 1758)
Busard des roseaux	<i>Circus aeruginosus</i> (Linnaeus, 1758)

La liste des batraciens recensée dans le barrage El K'sob (Mimeche, 2014)

Nom scientifique	Nom commun	Nom scientifique	Nom commun
Crapaud vert <i>Bufo viridis</i> (Laurenti, 1768)		Crapaud vert <i>Bufo viridis</i> (Laurenti, 1768)	
Crapaud commun <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758)		Crapaud commun <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758)	

Liste des espèces de poissons capturés au barrage El K'sob (M'Sila) (Mimeche, 2014)

Cyprinus carpio var specularise
Cyprinus carpio var specularise
Oreochromis niloticus
Leuciscus cephalus
Luciobarbus callensis
Hypophthalmichthys molitrix
Gambusia holbrooki

Annexe 3



Station 1



Station 2



Station 3



Station 4



Station 5



Station 6



Station 7



Les différents sols de notre zone d'étude

Annexe 4



Le prélèvement du sol pour la mesure de la densité apparente



Tamis



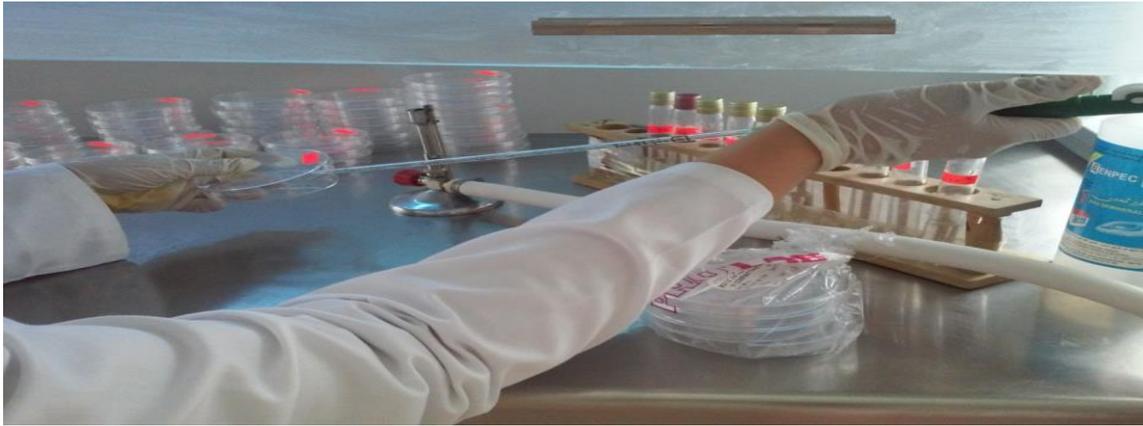
GPS



Spectrophotomètre à flamme



Calibrage de pH mètre



Analyse microbiologique



Le matériel microbiologique



Incubateur



Balance de précision



Hotte à irradiation UV



Autoclave



Bain marie électrique



Agitateur mécanique



spectrophotomètre



Vortex



Calcimètre de Bernard



Bain de sable



Conductimètre

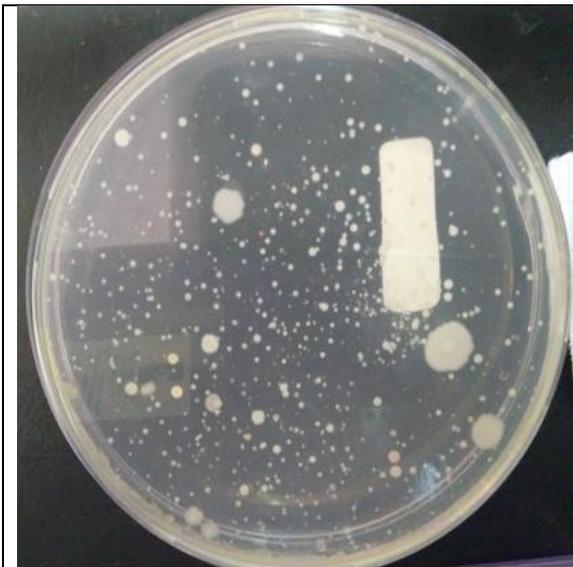


Etuve

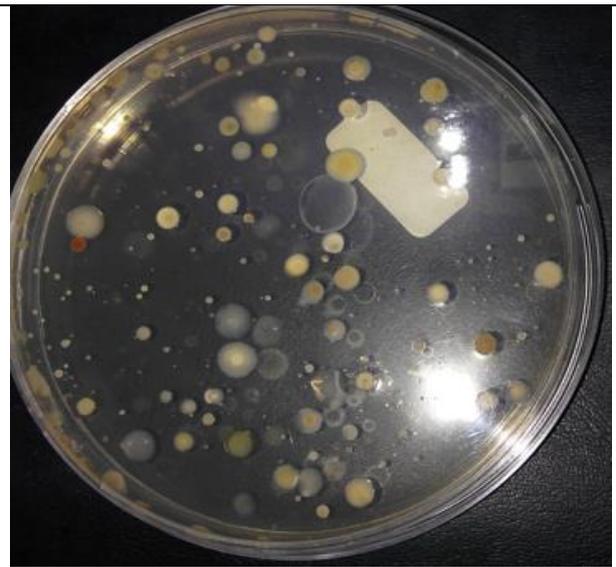


La mesure de la granulométrie à l'aide de la pipette de Robinson

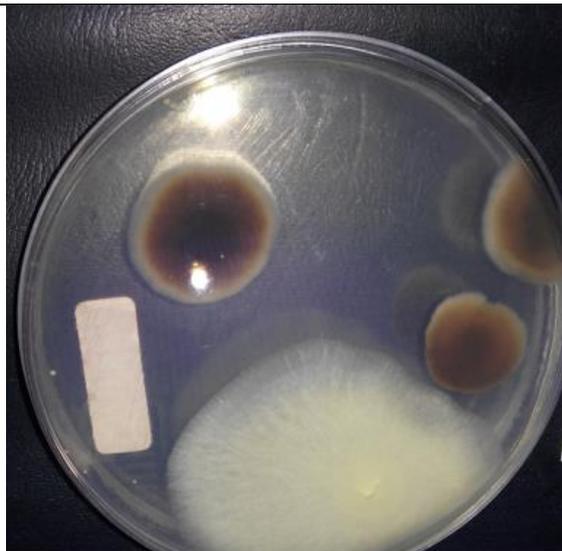
Annexe 5



Les colonies des bactéries



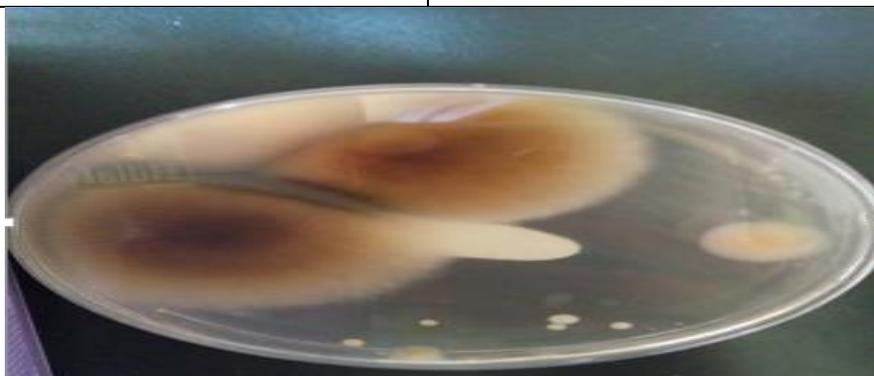
Les colonies des actinomycètes



Les champignons (des moisissures)



Les colonies de levures

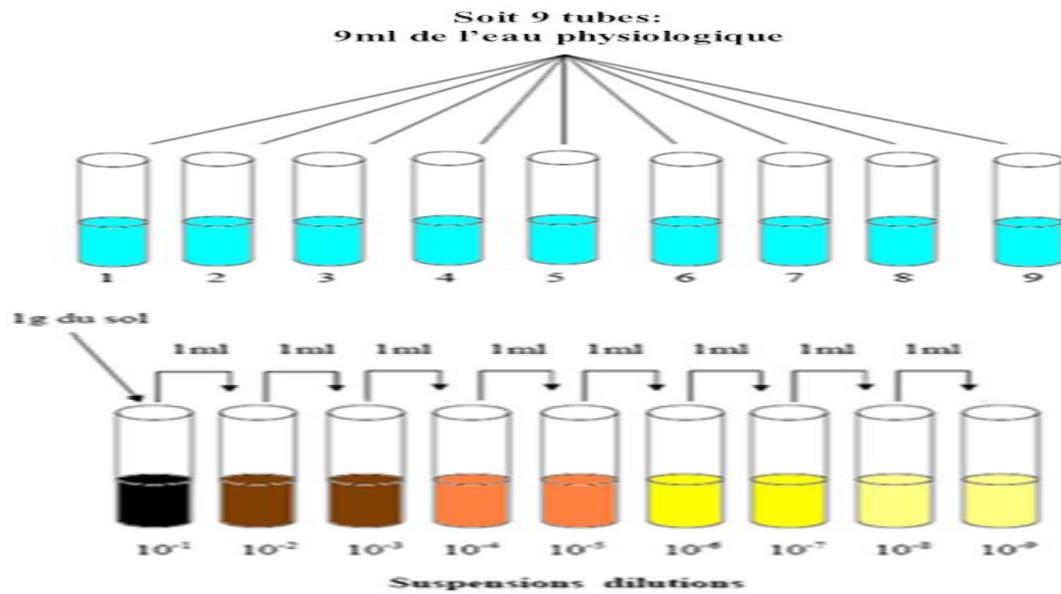


Les champignons (des levures+ des moisissures)

Annexe 6

Starch casein Agar SCA:

Amidon.....	10g
Casein	0,3g
KNO ₃	2g
NaCl.....	2g
MgSO ₄ 7H ₂ O.....	0,05g
CaCO ₃	0,02g
FeSO ₄ 7H ₂ O.....	0,01g
Agar.....	18g



Techniques de suspension dilution du sol

Annexe 7

Corrélation entre l'altitude et la biomasse microbienne des sols

	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	-0,002

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre les variations saisonnières et la biomasse microbienne des sols

	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	-0,211

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre l'altitude et la microflore totale des sols

Microflore totale	
Corrélation de Pearson	-0,202

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre l'altitude et les bactéries mésophiles des sols

Bactéries mésophiles	
Corrélation de Pearson	-0,202

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative

Corrélation entre l'altitude et les actinomycètes des sols

Actinomycètes	
Corrélation de Pearson	0,206

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre la texture et la microflore des sols

Biomasse microbienne	
Corrélation de Pearson	0,022

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre les variables (la densité apparente et la porosité) avec la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Champignons	Actinomycète	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson pour la densité apparente	0,172	-0,106	-0,157	0,172	-0,157
Corrélation de Pearson pour la porosité	-0,173	0,105	0,153	0,169	0,155

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre l'humidité et la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Champignons	Actinomycète	Microflore totale
Corrélation de Pearson	-0,215	0,186	0,152	-0,215

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre le pH et la microflore des sols de la zone d'étude

	Bactéries mésophiles	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	0,038	-0,061	-0,024

NB :* 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre la conductivité électrique et la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Actinomycètes	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	-0,012	-0,168	-0,012	0,203

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre le calcaire totale et la microflore des sols

	Champignons	Actinomycètes
Corrélation de Pearson	0,045	-0,079

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre le calcaire actif et la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Champignons	Actinomycètes	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	-0,052	0,151	0,128	-0,052	-0,150

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre le phosphore et la microflore des sols

	Champignons	Actinomycètes	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	0,132	0,198	-0,126

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre la CEC et la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Microflore totale
Corrélation de Pearson	0,126	0,126

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre le chlorure et la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Champignons	Actinomycètes	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	0,005	0,047	-0,057	0,005	-0,155

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre le sodium et la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Champignons	Actinomycètes	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	-0,159	-0,161	-0,192	-0,159	-0,164

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Corrélation entre le calcium et la microflore des sols

	Bactéries mésophiles	Champignons	Actinomycètes	Microflore totale	Biomasse microbienne
Corrélation de Pearson	-0,159	-0,161	-0,192	-0,159	-0,164

NB : * 0,05 significative, ** 0,01 hautement significative, *** 0,001 très hautement significative.

Annexe 8

Classes de pH des sols selon l'extrait 1/5 le pH de l'extrait (Soltner, 1989)

pH	Classes	Désignation
5 à 5,5	Très Acide	
5,5 à 5,9	Acide	
6 à 6,5	Légèrement acide	
6,6 à 7,2	Neutre	Neutre
7,3 à 8	Alcaline	Alcaline
>8	Très Alcaline	Très Alcaline

Classification des sols en fonction de la conductivité électrique (Aubert, 1978)

Degrés de salinité d sol	CE (mS/cm) 25°C	Désignation
Non salé	0-0.6	Non salé
Peu salé	0.6- 1.2	Peu salé
salé	1.2- 2.4	salé
Très salé	2.4- 6	Très salé
Extrêmement salé	6 <	

Echelle du calcaire (Baize, 1998)

Calcaire CaCO₃ (%)	Classe de sols	Désignation
≤01	Non calcaire	
01 ≤CaCO ₃ ≤05	Peu calcaire	
05≤CaCO ₃ ≤25	Modérément calcaire	Modérément calcaire
25≤CaCO ₃ ≤50	Fortement calcaire	Fortement calcaire
50≤CaCO ₃ ≤80	Très fortement calcaire	Très fortement calcaire
>80	Excessivement calcaire	

Norme d'interprétation du phosphore assimilable d'après Calvet et Villemin 1986

Taux de phosphore assimilable en ppm	Classe de sols	Désignation
< 30 ppm	Très faible	Très faible
30- 50 ppm	pauvre	
50- 100 ppm	Moyennement pauvre	
100- 200 ppm	riche	

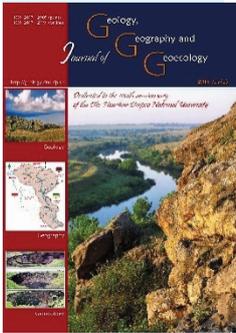
Norme d'interprétation selon ITA 1977

Taux de la matière organique	Classe de sols	Désignation
<1	Très pauvre	Très pauvre
1à2	Pauvre	Pauvre
2 à 4	Moyenne	Moyenne
>4	Riche	

Normes d'interprétation pour l'azote (Calvet et Vellemin, 1986)

Azote (%)	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
	< 0.05	0.05- 0.1	0.1- 0.15	0.15- 0.25	> 0.25
KJELDAHL					

Article



Journal of Geology, Geography and Geoecology

Journal home page: geology-dnu-dp.ua

ISSN 2617-2909 (print)
ISSN 2617-2119 (online)

Journ.Geol.Geograph.
Geoecology,
27(3), 485-494
doi:10.15421/111872

Rebati Nadia, Bouchenafa Nadia,
Oulbachir Karima, Svideniuk Mykhailo

Journ.Geol.Geograph.Geoecology, 27(3), 485-494

Remote sensing and ground based assessment of distribution of land cover parameters in the catchment area of Wadi el K'sob M'sila (Algeria)

Rebati Nadia¹, Bouchenafa Nadia¹, Oulbachir Karima¹, Svideniuk Mykhailo²

¹Ibn Khaldoun University, BPP78 Zaïroua 14000, Tiaret, Algeria., e-mail: rebatin@yahoo.com

²Scientific Centre for Aerospace Research of Earth, NAS Ukraine, Oles Honchar st. 55 b. Kiev, 01054, Ukraine, e-mail: svideniuk_m@ukr.net

Received 29.09.2018;

Received in revised form 05.10.2018;

Accepted 18.11.2018

Abstract. Remote sensing methodology was applied to assess two land cover parameters (elevation and soil moisture) in the first stage. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digital elevation model (DEM) was used to build a map of the water catchment basins within the Wadi El K'sob area. Relative soil moisture for the territory of the Wadi El K'sob catchment area was estimated by using the Sentinel-1/Multispectral Instrument

(MSI) and Landsat-8/Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) optical multispectral data. Elevation data of the sampling points range from 398 to 1081 meters above sea level. Soil moisture varied from 0.2 to 0.37 relative units. The effects of altitude and physico-chemical properties of soil on soil microflora communities in the catchment area of Wadi El K'sob M'sila (Algeria) were investigated in the second stage. The work presented here identified three groups of microorganisms in the soil samples collected in spring 2017 from 7 locations situated in the catchment area of Wadi El K'sob M'sila (Algeria) along with 11 physico-chemical characteristics. Statistical tests showed that actinomycetes, fungi and mesophilic bacteria were positively correlated to the altitude. The results revealed that the microflora communities was very dependent on soil physico-chemical characteristics, the main parameters were relative soil moisture, texture, pH, electrical conductivity, organic carbon, organic matter, total nitrogen and available potassium. Generally, the parameters analyzed in this study, indicate a change in the soil microflora community according to the altitudinal and soil physico-chemical variations.

Keywords: remote sensing, land cover, catchment area, physico-chemical properties, soil microflora communities.

Дистанційне зондування та наземна оцінка розподілу параметрів земельного покрову на території водозбору Ваді ель Ксоб Мсіла (Алжир)

Рабаті Надія¹, Боученатаа Надія¹, Оулбачір Каріма¹, Свіденюк Михайло²

¹ Університет Ібн Халдун, ВПП78 Задрора 14000, Тіарет, Алжир., e-mail: rebatin@yahoo.com

² Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі, НАН України, вул. Олесь Гончара. 55 б. Київ, 01054, Україна, e-mail: svideniuk_m@ukr.net

Анотація. Методологія дистанційного зондування була застосована для оцінки двох параметрів ґрунтового покрову (висоти і вологості ґрунту) на першому етапі. Цифрова модель рельєфу місцевості SRTMDEM використана для побудови карти водозбірних басейнів на території Ваді-Ель-К'соб. Відносна вологість ґрунту на території водозбору Ваді-ель-К'соб оцінена за допомогою приладів Sentinel-1/Multispectral (MSI) і Landsat-8, операційного землеустрою (OLI) і оптичних мультиспектральних даних тепловізійного інфрачервоного датчика (TIRS). Висотні дані точок відбору проб становлять 398 - 1081 метрів над рівнем моря. Вологість ґрунту варіювала від 0,2 до 0,37 умовних одиниць. На другому етапі вивчався вплив висоти і фізико-хімічних властивостей ґрунту на угруповання ґрунтової мікрофлори у водозбірному басейні Ваді Ель-к'соб (Алжир). У даній роботі, навесні 2017 року, разом з 11 фізико-хімічними показниками були визначені три групи мікроорганізмів у пробах ґрунту, відібраних з 7 місць, розташованих у водозбірному басейні Ваді Ель-к'соб (Алжир). Статистичні тести показали, що актиноміцети, гриби і мезофільні бактерії позитивно корелювали з висотою. Результати показали, що спільноти мікрофлори в значній мірі залежать від фізико-хімічних характеристик ґрунту, основними параметрами є відносна вологість ґрунту, текстура, рН, електропровідність, органічний вуглець, органічна речовина, загальний азот і доступний калій. В цілому параметри, проаналізовані в даному дослідженні, свідчать про зміну спільноти ґрунтової мікрофлори в залежності від висотної і ґрунтової фізико-хімічної варіації.

Ключові слова: дистанційне зондування, ґрунтова - рослинний покрив, водозбірний басейн, фізико-хімічні властивості, угруповання ґрунтової мікрофлори.

Introduction. Soil is the most favorable habitat for a vast diversity of microorganisms including mesophilic bacteria, fungi (Bakken, 1997, Aislabie et al., 2013) and actinomycetes (Bakken, 1997). Soil microorganisms comprise the major part of the biological diversity on earth (Aislabie et al., 2013). They play a pivotal role in soil ecosystem processes (J Morin and McGrady-Steed, 2004, S Giller et al., 2004; Fierer and Jackson, 2006, Philippot et al., 2013; Schimel and Schaeffer, 2012), such as nutrient cycling, organic matter turnover (Aislabie et al. 2013), bioremediation and enhancing macroaggregate formation (Egamberdieva et al., 2010). Changes in soil microbial communities can have important effects on soil biogeochemical properties (Chapin Iii et al., 2000) which ultimately affect the functioning of the terrestrial ecosystem. Meanwhile, they are subjected to the influences of environmental factors. Environmental factors may be classified as physiographic factors, edaphic factors, climatic factors and biotic factors (Cepel, 1995; Topaloglu et al., 2016).

The effects of the soil's physico-chemical properties on soil microorganisms have been discussed in numerous studies (Guo-Mei et al. 2010; Saravanakumar et al. 2016; Dang et al. 2017). However, there is little information on the impact of altitude on soil microorganisms. Previous studies have proved that the soil microbial community is also influenced by changes in the soil's organic matter, soil pH, water content (Bååth et al. 1995; Taylor et al. 1999; Tan et al. 2005; Davidson and Janssens, 2006), the soil type (Girvan et al. 2003) and soil texture (Bekku et al. 2004; Kaštovská et al. 2005; Kaštovská et al. 2007). These factors, in turn, are influenced by the altitudinal gradient (Kidanemariam et al. 2012). Some studies have indicated that with differences in elevation there is variation in the microbial community structure and changes in microbial activity (Margesin et al. 2008; Chang et al. 2016).

The aim of this study was to build a topographic map of water catchment basins, to estimate the spatial distribution of relative soil moisture, to examine the effect of altitude on the microbial community, to reveal the relationship between physicochemical properties of the soil and microbial communities in the catchment area of Wadi El K'sob (M'sila) Algeria.

Materials and methods. Study Site. The catchment area of Wadi El K'sob is located at the northern borders of the large Hodna basin (Hadjab, 1998). It constitutes the western part of the high Plain of Constantine. The catchment area of Wadi El K'sob

is located on the southern slopes of the Hodna Mountains and its water runs out towards Chott Hodna, which is an endorheic lake, i.e. deprived of a discharge outlet (Mimeche, 2014). The climate of the area is temperate with a mean annual temperature of 19.41 °C and annual precipitation averaging 202.26 mm. The climate in this region is arid. The study area was mostly inhabited by plants.

Effect of altitudinal gradient and soil physico-chemical properties on soil microflora communities in the catchment area of Wadi el K'sob M'sila (Algeria)

In May 2017, soil samples were collected separately from seven different elevations on the catchment area of Wadi El K'sob along a south-north transect (Fig.1).

Different soil samples were extracted from the surface layer (0 to 20 cm depth) soils of each site and homogenized to obtain a representative sample for each station. The type of sampling used in our sector of investigation was the two way diagonal sampling. Soil samples were placed in plastic bags on ice and transported to the laboratory. Before processing, each soil sample was sieved (2 mm) to remove the stone and root fragments and separated into two portions. One portion was stored at room temperature for chemical analysis (e.g. pH, organic matter) and the other portion at 4°C for microbial analysis.

Laboratory Analysis. Analyses of soil physico-chemical properties. Prior to determining the soil physical and chemical properties, the collected soil samples were air-dried and ground to pass through a 2 mm sieve. Soil texture was determined by the international Robinson pipette method. Bulk density corresponds to the ratio between the dry mass of the soil and the apparent volume. The soil moisture content (MC) was determined by oven-drying 10 g of soil at 105 °C for 24 hours, and the results are presented based on the soil weight loss (Hesse and Hesse, 1971). The pH of each soil sample was measured in distilled water at a 1: 2.5 soil: water volume ratio with a pH meter (HANNA). Electrical conductivity (EC) was determined according to 1:5 (w/v) soil-water suspensions at 25 °C with a conductimeter (HANNA) (Richards, 1954). Soil organic carbon (SOC) was determined by the ANNE method, 1945 (Aubert, 1978). The organic matter content (OMC) was obtained by multiplying SOC content with Van Bemmelen factor (1.724). Total nitrogen (TN) content was assessed via the Kjeldahl method (Qiu et al. 2010). The total calcium (calcium carbonate) was determined by the method of

calcimeter Bernard (Baize, 1988). Active limestone was determined using the method of Drouineau-

Galet (Mathieu *et al.* 2003). Amounts of K⁺ were analyzed flame photometrically.

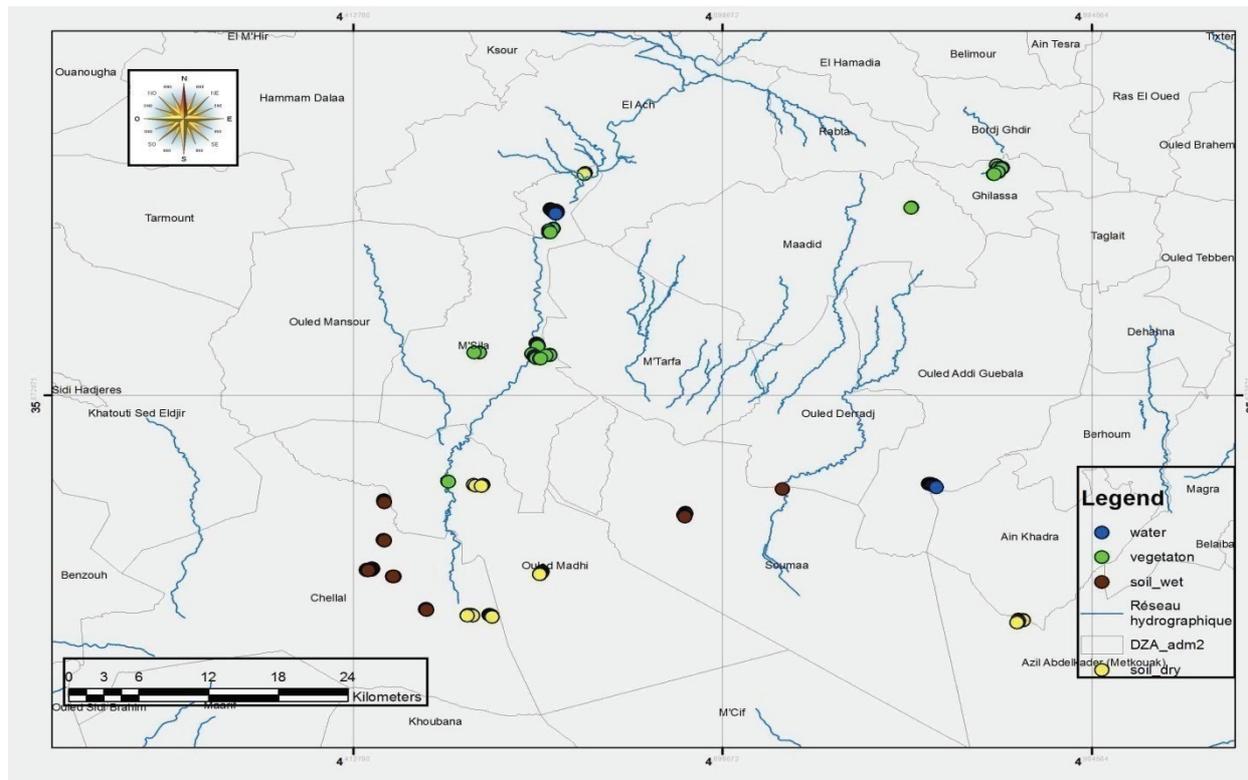


Fig. 1. The map of the catchment area of Wadi El K' sobM'sila

Laboratory Analysis. Analyses of soil physico-chemical properties. Prior to determining the soil physical and chemical properties, the collected soil samples were air-dried and ground to pass through a 2 mm sieve. Soil texture was determined by the international Robinson pipette method. Bulk density corresponds to the ratio between the dry mass of the soil and the apparent volume. The soil moisture content (MC) was determined by oven-drying 10 g of soil at 105 °C for 24 hours, and the results are presented based on the soil weight loss (Hesse and Hesse, 1971). The pH of each soil sample was measured in distilled water at a 1: 2.5 soil: water volume ratio with a pH meter (HANNA). Electrical conductivity (EC) was determined according to 1:5 (w/v) soil-water suspensions at 25 °C with a conductimeter (HANNA) (Richards, 1954). Soil organic carbon (SOC) was determined by the ANNE method, 1945 (Aubert, 1978). The organic matter content (OMC) was obtained by multiplying SOC content with Van Bemmelen factor (1.724). Total nitrogen (TN) content was assessed via the Kjeldahl method (Qiu *et al.* 2010). The total calcium (calcium carbonate) was determined by the method of calcimeter Bernard (Baize, 1988). Active limestone was determined using the method of Drouineau-

Soil Microbiological Analysis. 1 g of soil was mixed with 9 ml of physiological water and shaken thoroughly. 1 ml from the solution was then mixed in 9 ml of physiological water to make a 10⁻² dilution of this solution and in the same pattern dilutions for 10⁻³, 10⁻⁴ etc.

Indirect numeration in solid medium. Specific methods and media were used for enumeration of the microbial counts of different groups of microbial flora: starch casein agar medium for actinomycetes, potato Dextrose Agar medium for fungi (Saravanakumar *et al.* 2016) and Agar Nutrient for mesophilic bacteria. Enumeration of all the microbes was done by adopting a spread plate method. 0.1 ml of each dilution was spread uniformly on agar-medium Petri plates to determine the number of populations per gram of soil. Microorganisms were cultured at the temperature of 28 ± 2 °C. After the incubation period of 5 days for fungi, 7 days for actinomycetes and 2 days for mesophilic bacteria, the colony forming units (CFU) were counted.

Data analysis. Three replicates were used in soil physico-chemical parameters and microbiological analysis. Data presented was the average of the triplicates. One way analysis of variance (ANOVA) was used to study the effect of the altitude and physico-chemical parameters of soil on soil microflora. Correlation analysis was used to demonstrate the rela-

tionship between different parameters. All these analyses were conducted by SPSS (version 22).

Results. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digital elevation model (DEM) (Fig.2a)

was used to build a map of the water catchment basins within (Fig.2b) the Wadi El K'sob catchment area.

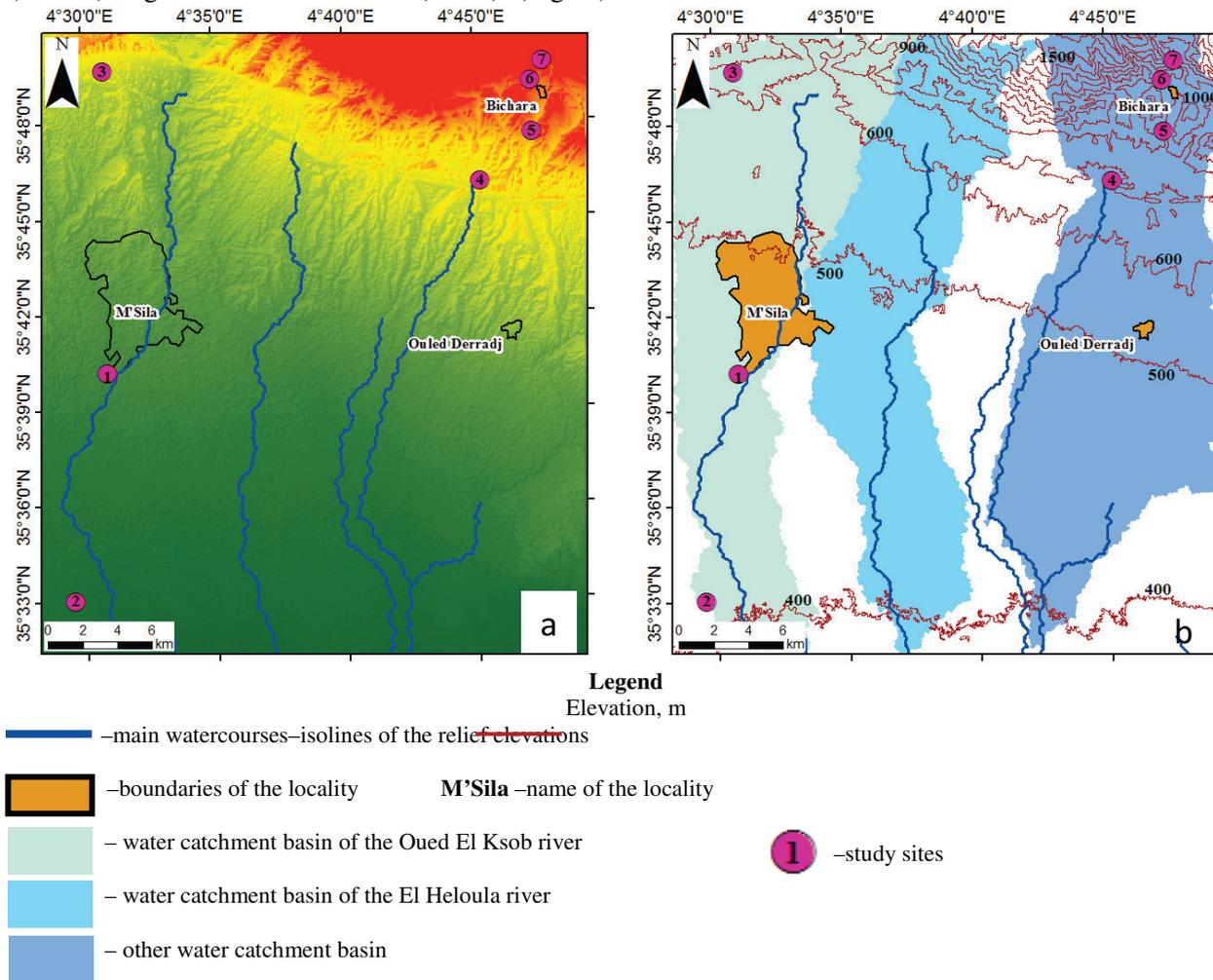


Fig. 2. The map of the basins by using the SRTM DEM: a – SRTM digital elevation model; b – topographic map

Relative soil moisture for the territory of the Wadi El K'sob catchment area was estimated by using the Sentinel-1/Multispectral Instrument (MSI) and Landsat-8/Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) optical multispectral data.

In particular, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and land surface emissivity were computed to determine the land surface temperature (LST) (Stankevich et al.2016) based on Landsat-8 image of 15 May 2017. Then, the processed Sentinel-2A/MSI image of 17 May 2017 (Fig.3a) was used to compute Normalized Water Index. Finally, the products obtained of thermal and optical remote sensing were fused to determine the land cover moisture which depends on LST (Fig. 3b) (Sakhatsky et al.2007).

Data from the study sites on elevation and relative soil moisture for seven soil samples are shown in Table 1.

Elevation of the sampling points varied from 398 to 1081 meters above sea level. Soil moisture data were calculated for each sampling site using the map in Fig 3b and varied from 0.2 to 0.37.

Physico-chemical parameters. The values of the physico-chemical parameters of soils are shown in Table 2.

Microbial properties. The microflora of our soil was represented by the high concentration of mesophilic bacteria followed by actinomycetes and fungi. The effects of the altitude and physico-chemical properties of soils on soil microflora (mesophilic bacteria, fungi and actinomycetes) are discussed below.

Mesophilic Bacteria (10^9 cfu/g). The colony forming units (CFU) counts for mesophilic bacteria were significantly higher, in station 7 (309000×10^9) and lower in station 2 (73×10^9) (Fig. 4). There was a significant effect of the soil texture on mesophilic bacteria (Table 3).

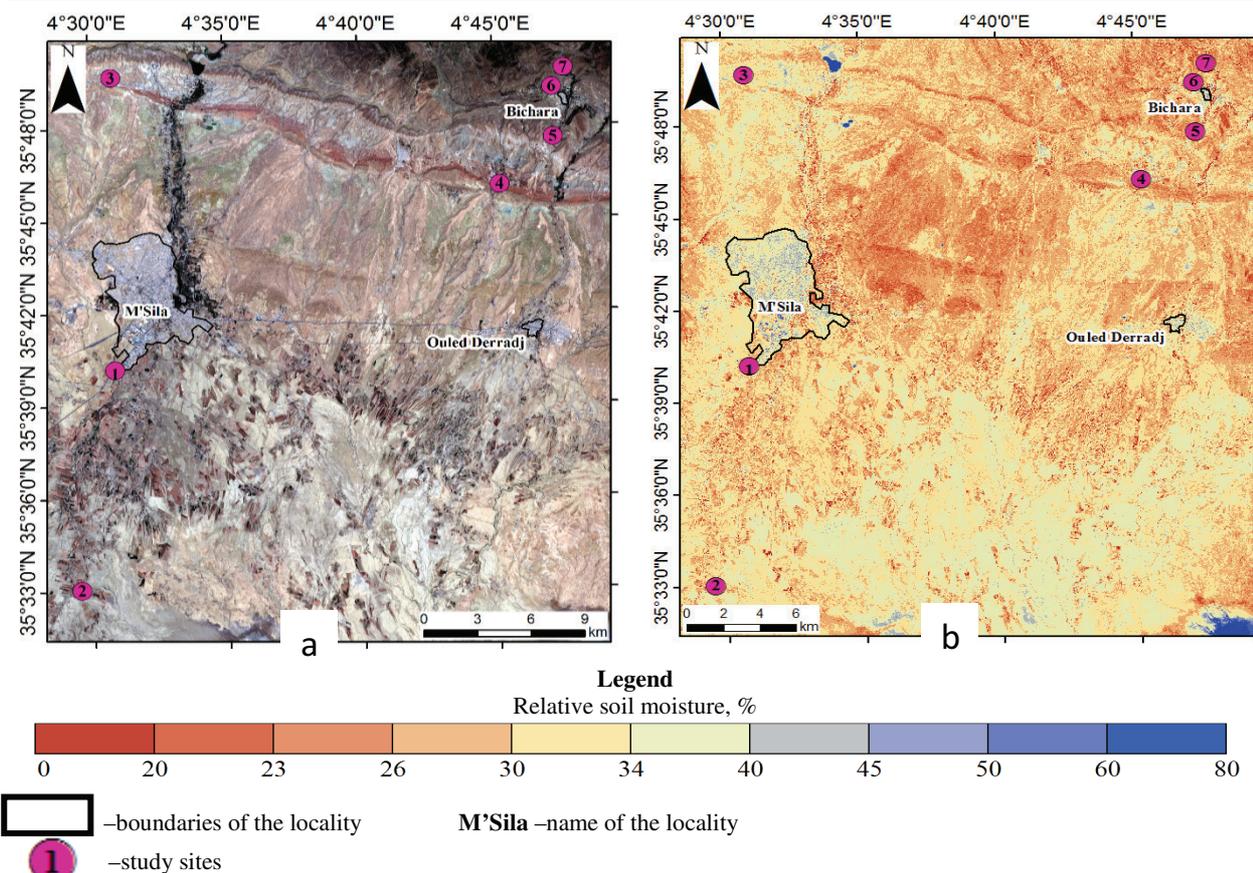


Fig. 3. The map of land surface moisture relative to land surface temperature: a – optical multispectral image Sentinel-2A/MSI of 17 May 2017 (wavelengths of 0.67, 0.56 and 0.5 μm in the Red, Green and Blue bands); b - the map of land surface moisture

Table 1. Data from study sites on elevation and soil moisture

Sampling Sites	Latitude (N)	Longitude (E)	Elevation (m)	Relative soil moisture
S1	35°33'03.0"	4° 29'31"	398	0.28
S2	35°40'11.3"	4°30'51.1"	441	0.37
S3	35°49'40.5"	4°34'07.0"	563	0.34
S4	35°46'05.2"	4°45'13.9"	682	0.34
S5	35°47'36.3"	4°47'14.3"	848	0.30
S6	35°49'13.8"	4°47'13.5"	993	0.20
S7	35°49'50.2"	4°47'39.7"	1081	0.29

Table 2. Physical and chemical characteristics of the soils in the spring in the seven different studied sites

Stations	Spring						
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7
Texture	loam	loam	loam	loamy sand	silty clay	silty clay	sandy clay loam
Bulk density	1.24±0	0.67±0	1.51±0	1.36±0	1.05±0	0.89±0	0.92±0
MC	1.68±0	1.83±0	0.96±0	1.99±0	7.91±0	0.43±0	2.77±0
pH	7.67±0	7.27±0	7.62±0	7.47±0	7.8±0	7.66±0	8.14±0
EC (uS/cm)	945.3±20.5	3650± 90	1842.33±109	3020± 20	2493±620	527.33±46.5	492.33±102.5
CaCO ₃ (%)	51.27±1.17	36.37±1.06	50.35±0.61	22.8±1.23	12.77±0.49	41.81±0.58	21.05±1.6
ActiveCaCO ₃ (%)	12.5 ± 1	13.5±3.04	15.5±1.32	15.25±0.25	13 ± 0.58	20.83±2.08	10 ± 1
K (meq/l)	6.15 ± 0	12.42±0.37	4.48±0.12	8.72 ± 0	6.79±0,38	7.92±1.82	3.20±0.38
OC (%)	0.86±0.005	1.75 ± 0.07	1.05±0.11	0.74±0.11	1.21±0.24	1.28±0.06	0.19±0.13
OM (%)	1.48±0.01	3.01±0.13	1.8± 0.19	0.87±0.19	2.07±0.42	2.21±0.11	0.333±0.22
N (%)	0.035 ± 0	0.15±0	0.046±0	0.018±0	0.08±0	0.19±0	0.032±0
C/N	21.5±0.14	11.67±0.48	21 ± 2.44	41.11±6.41	15.12±3.06	6.74 ± 0.34	17.81 ± 4.08

S: Station MC: Moisture Content, EC: Electrical Conductivity, CaCO₃: Calcium Carbonate, active CaCO₃: Active limestone K: potassium, OC: Organic Carbone, OM: Organic Matter, N: Nitrogen, C/N: ratio Carbon on Nitrogen.

Table 3. Output of the ANOVA analysis demonstrating the altitude and the effect of soil physico-chemical properties on soil microflora communities

Soil property	Actinomycetes		Fungi		Mesophilic bacteria	
	F-value	P-value	F-value	P-value	F-value	P-value
Altitude	9284.37	0.000	140.68	0.000		
Texture	15371.4	0.000	8.19	0.001	6316.05	0.000
Bulk density	9284.37	0.000	140.68	0.000		
MC(%)	9284.37	0.000	140.68	0.000		
pH	9284.37	0.000	140.68	0.000		
CaCO3(%)			43.088	0.005		
Active CaCO3 (%)	0.982	0.573	1.682	0.328	1.017	0.556
OC (%)	5968,52	0.000	90,438	0.000		
OM (%)	5968,52	0.000	90,438	0.000		
N (%)	9284.37	0.000	140.68	0.000		
C/N	9284,37	0.000	140,68	0.000		
K ⁺ (meq/l)	994.754	0.000				

The correlation analysis also proved a significant positive correlation between mesophilic bacteria and altitude (p b 0.01) (Table 4).

Mesophilic bacteria show negative correlation with conductivity (p b 0.05), organic carbon (p b 0.01), organic matter (p b 0.01), active limestone (p b 0.05) and available K⁺ (p b 0.01) while they show a positive correlation with texture (p b 0.01) and pH (H₂O) (p b 0.01).

Actinomycetes (10⁶ cfu/g). The actinomycete counts showed large variations at different altitudes from 0.092 to 47 × 10⁶ CFU g⁻¹ dry soil (Fig. 5). Total actinomycete numbers increased with increasing altitudes. The correlation analysis also demon-

strated a significant positive correlation between actinomycetes and altitude (p b 0.01). ANOVA analysis also demonstrated a significant effect of altitude on actinomycetes. It was observed that populations of the actinomycetes were significantly affected by the bulk density, texture, the moisture content, pH (H₂O), organic carbon, organic matter, total nitrogen, C/N ratio and available K⁺. Actinomycetes showed negative correlation with conductivity (p b 0.01), active limestone (p b 0.01), organic carbon (p b 0.05), organic matter (p b 0.05) and available of K⁺ (p b 0.05) while they showed a positive correlation with texture (p b 0.01) and pH (H₂O) (p b 0.01).

Table 4. Correlation coefficient between altitude, soil physico-chemical properties and soil microflora communities. Significance between the parameters is indicated by *p b 0.05, **p b 0.01

	Actinomycetes	Fungi	Mesophilic bacteria
Altitude	0.67**	0.60**	0.59**
Texture	0.73**	0.54**	0.66**
Bulk density	-0.284 ns	-0.655**	-0.232 ns
MC(%)	0.080 ns	-0.291 ns	0.035 ns
pH	0.803**	0.397 ns	0.782**
EC (uS/cm)	-0.478*	-0.476*	-0.480*
CaCO3 (%)	-0.411 ns	-0.094 ns	-0.350 ns
Active CaCO3 (%)	-0.478*	0.003 ns	-0.516*
OC (%)	-0.730**	-0.201 ns	-0,745**
OM (%)	-0.572**	-0.054 ns	-0.608**
N (%)	-0.268 ns	0.388 ns	-0.325 ns
C/N	-0.089 ns	-0.515*	-0.053ns
k+(meq/l)	-0.555**	-0.116ns	-0.575**

Fungi (10³ cfu/g). The data showed that the highest population of fungi in S7 (79 × 10³), while S1 exhibited the significantly lowest concentrations of fungi (1.45 × 10³) (Fig. 6).

Abundance of fungi was also observed to be affected significantly by altitude (Table 4). The fungi showed a positive correlation with altitude (p b 0.01). In our studies, the bulk density, texture,

moisture content, pH (H₂O), calcium carbonate, organic carbon, organic matter, total nitrogen and C/N ratio in the soil had a significant effect on fungi. The fungi showed a negative correlation with bulk density (p b 0.01), conductivity (p b 0.05) and C/N ratio (p b 0.01) while they showed a positive correlation with texture (p b 0.01).

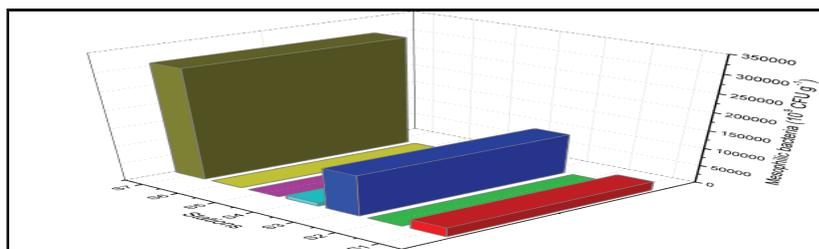


Fig. 4. Variation in the number of mesophilic bacteria in our soils

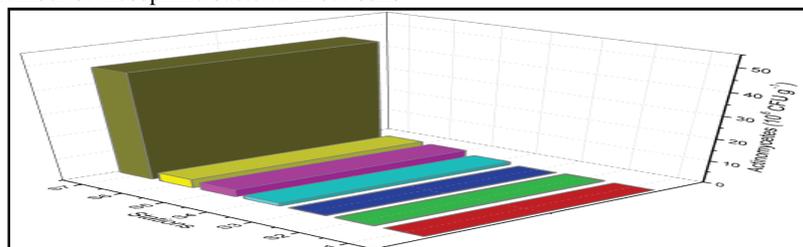


Fig. 5. Variation in the number of actinomycetes in our soils

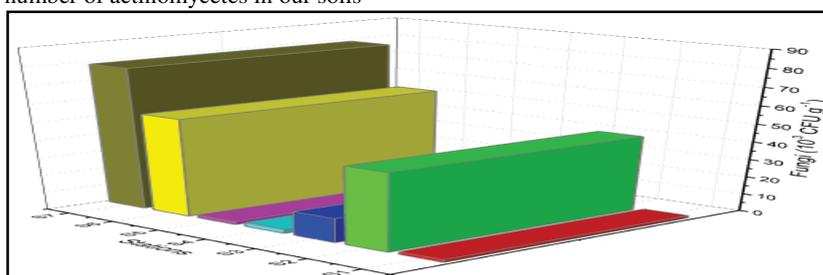


Fig. 6. Variation in the number of fungi in our soils

Discussion. Our experimental study aimed to determine the influence of altitude and soil properties on microflora communities in the catchment of Wadi El K'sob in spring. Our findings revealed that microbial communities in this environment were represented by the high concentration of mesophilic bacteria followed by actinomycetes and fungi. This is perhaps unsurprising because other environments presented the same one profile microbial communities (Baldrian *et al.*, 2012).

Altitude is appropriate to variables that affect the ecosystem, such soil moisture, mean annual precipitation, soil organic matter, labile C and mineralisable N and microbial activities (Griffiths *et al.*, 2009). The results showed that altitude was statistically correlated with microbial communities (Table 4). In our study, microbial, actinomycete and fungal communities were significantly influenced by altitude. The effect of altitude may due to changes in vegetation and/or to human activity at low altitudes (Faoro *et al.*, 2010). Some researchers (Margesin *et al.*, 2008, Chang *et al.*, 2016) have detected a significant rise in the populations of fungi and bacteria with increasing elevation. Other studies also generally observed a decrease in microbial biomass and activity with increasing altitude and colder climate conditions (Uchida *et al.*, 2000, Lipson, 2006).

Thus, characterization of abiotic properties is important for providing a clearer vision of how

microbial communities change. Statistical analyses showed that physico-chemical characteristics make specific contributions to soil microbial communities.

Previous studies have proved that microbial community composition appeared to vary as a function of the size of soil aggregates (Kanazawa and Filip, 1986; Sessitsch *et al.*, 2001, Väisänen *et al.*, 2005). We found an influence of texture and bulk density on the microbial communities of soils (Table 3). Some researchers (Bott and Kaplan, 1985, Väisänen *et al.*, 2005) have observed that soil microbial biomass increased with decreasing grain sizes.

In agreement with our results (Table 3), many other studies have formerly described the significant effect of soil moisture on the microbial community (Barness *et al.*, 2009). The effect of moisture content on the microbial community of soil might be due by its effect on osmotic potential, transport of nutrients and energy and cellular metabolism as well as on the competitive interactions between microbial species (Williams and Rice, 2007; Meimei *et al.*, 2008; Barness *et al.*, 2009).

Soil pH has been significantly correlated with the soil mesophilic bacteria and actinomycetes. (Lauber *et al.*, 2008, Wang *et al.*, 2014) confirming that bacterial communities were strongly correlated, with soil pH. However, many studies have demonstrated that fungal biomass was not

strongly related to soil pH (Frey *et al.*, 1999, Lauber *et al.*, 2008), which is also what we found (Table 4).

It had also been documented that salinity affects microbial community composition (Abdelkader Dellal, 1992, Egamberdieva *et al.*, 2010, Zhang *et al.*, 2013). Our results indicated that microbial communities (actinomycetes, fungi and mesophilic bacteria) were also negatively correlated with EC. Similar results were found by other researchers (Rietz and Haynes, 2003).

Our research presented a negative correlation between soil available potassium and actinomycete communities. A similar result was obtained by Cheng *et al.* 2016.

Previous studies found that soil organic carbon played the most significant role in microbial community structure (Postma *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2013; Cheng *et al.*, 2016). In our study, actinomycetes and mesophilic bacteria showed a significant correlation with organic carbon. In accordance with our result, (Frey *et al.*, 1999) detected that the proportional fungal biomass was not strongly related to soil organic C.

It was shown that an increase in N availability affects soil microbial processes (Ramirez *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2013). Thus, fungi appear more sensitive than bacteria to soil N enrichment (Frey *et al.*, 2004). On the other hand, (Frey *et al.*, 1999) found that fungal biomass was not strongly related to soil N and that is what we found (Table 4). (Postma *et al.*, 2008) have demonstrated that among the highly significant explanatory factors of the composition of the dominant fungal population was soil C/N ratio. This may help to explain why we found the significant effect of soil C/N ratio on the fungal community (Table 3). It was showed also that microbial community functional structures were closely correlated with soil C/N (Yang *et al.*, 2013)..

Conclusions. Remote sensing approaches were applied to assess two land cover parameters (elevation and soil moisture) at the first stage of our research.

The effects of altitude and physico-chemical properties of soil on soil microflora communities in the catchment area of Wadi El K'sob M'sila (Algeria) were investigated at the second stage. Elevation data of the sampling points range from 398 to 1081 meters above sea level. Relative soil moisture varied from 0.2 to 0.37 relative units. The results indicated that the elevation could determine the microflora community in an ecosystem. Altitude had a significant correlation with the soil microflora population of the collected samples. Also, the variations between microflora communities were clearly related

to the physico-chemical characteristics of the soil, the principal parameters were texture, pH, electrical conductivity, active limestone, organic carbon, organic matter, total nitrogen and available potassium. In conclusion, the altitude and physico-chemical properties of the soil were recognized as key factors in the dynamics of the colonization of the soil by microbial populations.

Acknowledgements. We would like to thank all those who contributed to the realization of this work, particularly Mr. Dellal Abdelkader, Belouadah Zouheyr, Sarri Madani and his wife, Hendel Noui, Ben Aichata and Mme Moulay.

References

- Aislabie, J., Deslippe, J. R., & Dymond, J., 2013. Soil microbes and their contribution to soil services. Ecosystem services in New Zealand—conditions and trends. *Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand*, 143-161.
- Aubert, G., 1978. "Méthodes d'analyses des sols," Centre national de documentation pédagogique, Centre régional de documentation pédagogique de Marseille.
- Bååth, E., Frostegård, Å., Pennanen, T., & Fritze, H., 1995. Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 229-240.
- Baize, D., 1988. "Guide des analyses courantes en pédologie," Institut national de la recherche agronomique.
- Bakken, L. R., 1997. Culturable and nonculturable bacteria in soil. *Modern Soil Microbiology*, 47-61.
- Baldrian, P., Kolařík, M., Štursová, M., Kopecký, J., Valášková, V., Větrovský, T., Žifčáková, L., Šnajdr, J., Rídl, J., & Vlček, Č. 2012. Active and total microbial communities in forest soil are largely different and highly stratified during decomposition. *The ISME Journal* 6, 248.
- Barness, G., Zaragoza, S. R., Shmueli, I., & Steinberger, Y., 2009. Vertical distribution of a soil microbial community as affected by plant ecophysiological adaptation in a desert system. *Microbial Ecology* 57, 36-49.
- Bekku, Y. S., Nakatsubo, T., Kume, A., & Koizumi, H., 2004. Soil microbial biomass, respiration rate, and temperature dependence on a successional glacier foreland in Ny-Ålesund, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 395-399.
- Bott, T., & Kaplan, L., 1985. Bacterial biomass, metabolic state, and activity in stream sediments: relation to environmental variables and multiple assay comparisons. *Applied and Environmental Microbiology* 50, 508-522.
- Dellal, A., 1992. Activités microbiologiques en conditions salines : en cas de quelques sols salés

- de la région de Relizane (Algérie). *Cahiers agricultures* **1**, 335-340.
- Chang, E.-H., Chen, T.-H., Tian, G., & Chiu, C.-Y., 2016. The effect of altitudinal gradient on soil microbial community activity and structure in moso bamboo plantations. *Applied Soil Ecology* **98**, 213-220.
- Chapin Fii, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hooper, D. U., Lavorel, S., Sala, O. E., & Hobbie, S. E., 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* **405**, 234.
- Cheng, J., Jing, G., Wei, L., & Jing, Z., 2016. Long-term grazing exclusion effects on vegetation characteristics, soil properties and bacterial communities in the semi-arid grasslands of China. *Ecological Engineering* **97**, 170-178.
- Dang, P., Yu, X., Le, H., Liu, J., Shen, Z., & Zhao, Z., 2017. Effects of stand age and soil properties on soil bacterial and fungal community composition in Chinese pine plantations on the Loess Plateau. *PloS One* **12**, e0186501.
- Davidson, E. A., & Janssens, I. A., 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* **440**, 165.
- Duchaufour, P., 1997). *Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement*. 5e éd. Paris: Masson.
- Egamberdieva, D., Renella, G., Wirth, S., & Islam, R., 2010. Secondary salinity effects on soil microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils* **46**, 445-449.
- Faoro, H., Alves, A., Souza, E., Rigo, L., Cruz, L., Al-Janabi, S., Monteiro, R., Baura, V., & Pedrosa, F., 2010. Influence of soil characteristics on the diversity of bacteria in the Southern Brazilian Atlantic Forest. *Applied and Environmental Microbiology* **76**, 4744-4749.
- Fierer, N., & Jackson, R. B., 2006. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **103**, 626-631.
- Frey, S., Elliott, E., & Paustian, K., 1999. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry* **31**, 573-585.
- Frey, S. D., Knorr, M., Parrent, J. L., & Simpson, R. T., 2004. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. *Forest Ecology and Management* **196**, 159-171.
- Girvan, M. S., Bullimore, J., Pretty, J. N., Osborn, A. M., & Ball, A. S., 2003. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. *Applied and Environmental Microbiology* **69**, 1800-1809.
- Griffiths, R. P., Madritch, M. D., & Swanson, A. K., 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management* **257**, 1-7.
- Guo-Mei, J., Zhang, P.-D., Gang, W., Jing, C., Jing-Cheng, H., & Huang, Y.-P., 2010. Relationship between microbial community and soil properties during natural succession of abandoned agricultural land. *Pedosphere* **20**, 352-360.
- Hadiab, M., 1998. "Aménagement et protection des milieux naturels dans la cuvette centrale du Hodna (Algérie)," atel national de reproduction des thèses, paris.(Ph.D. thesis)
- Hesse, P. R., & Hesse, P., 1971. *A Textbook of Soil Chemical Analysis*.
- J Morin, P., and McGrady-Steed, J., 2004. Biodiversity and ecosystem functioning in aquatic microbial systems: a new analysis of temporal variation and species richness-predictability relations. *Oikos* **104**, 458-466.
- Kanazawa, S., & Filip, Z., 1986. Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soil. *Microbial Ecology* **12**, 205-215.
- Kaštovská, K., Elster, J., Stibal, M., & Šantrůčková, H., 2005. Microbial assemblages in soil microbial succession after glacial retreat in Svalbard (High Arctic). *Microbial Ecology* **50**, 396.
- Kaštovská, K., Stibal, M., Šabacká, M., Černá, B., Šantrůčková, H., & Elster, J., 2007. Microbial community structure and ecology of subglacial sediments in two polythermal Svalbard glaciers characterized by epifluorescence microscopy and PLFA. *Polar Biology* **30**, 277-287.
- Kidanemariam, A., Gebrekidan, H., Mamo, T., & Kibret, K., 2012. Impact of altitude and land use type on some physical and chemical properties of acidic soils in Tsegede Highlands, Northern Ethiopia. *Open Journal of Soil Science* **2**, 223.
- Lauber, C. L., Strickland, M. S., Bradford, M. A., & Fierer, N., 2008. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology and Biochemistry* **40**, 2407-2415.
- Lipson, D. A., 2006. Relationships between temperature responses and bacterial community structure along seasonal and altitudinal gradients. *FEMS Microbiology Ecology* **59**, 418-427.
- Margesin, R., Jud, M., Tscherko, D., & Schinner, F., 2008. Microbial communities and activities in alpine and subalpine soils. *FEMS Microbiology Ecology* **67**, 208-218.
- Mathieu, C., Pielain, F., & Jeanroy, E., 2003. "Analyse chimique des sols: Méthodes choisies," Tec & doc.
- Meimei, C., Baodong, C., & Marschner, P., 2008. Plant growth and soil microbial community structure of legumes and grasses grown in monoculture or mixture. *Journal of Environmental Sciences* **20**, 1231-1237.
- Mimeche, F., 2014. *Ecologie du barbeau de l'Algérie, Luciobarbus callensis (Valenciennes, 1842) (Pisces : Cyprinidae) dans le barrage d'EL K'sob*

- (M'Sila). Ecole Nationale Supérieure Agronomique – EL- Harrach Alger. (Ph.D. thesis)
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & Van Der Putten, W. H., 2013. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology* **11**, 789.
- Postma, J., Schilder, M. T., Bloem, J., & van Leeuwen-Haagsma, W. K., 2008. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry* **40**, 2394-2406.
- Qiu, L., Zhang, X., Cheng, J., & Yin, X., 2010. Effects of black locust (*Robinia pseudoacacia*) on soil properties in the loessial gully region of the Loess Plateau, China. *Plant and Soil* **332**, 207-217.
- Ramirez, K. S., Craine, J. M., & Fierer, N., 2012. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. *Global Change Biology* **18**, 1918-1927.
- Richards, L. A., 1954 . "Diagnosis and improvement of saline and alkali soil," Washington D. C.
- Rietz, D., & Haynes, R., 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* **35**, 845-854.
- S Giller, P., Hillebrand, H., Berninger, U. G., O Gessner, M., Hawkins, S., Inchausti, P., Inglis, C., Leslie, H., Malmqvist, B., & T Monaghan, M., 2004. Biodiversity effects on ecosystem functioning: emerging issues and their experimental test in aquatic environments. *Oikos* **104**, 423-436.
- Sakhatsky O. I., Stankevich S. A., 2007. Do mozhlyvosti otsiniuvannia zvolozhenosti zemnoho pokrytia za bahatospektralnymy kosmichnymy zobrazhenniamy optychnoho diapazonu na prykladi terytorii Ukrainy [On the possibilities of land cover moisture parameters determination using multispectral optical satellite images data on the by the example of Ukraine]. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine* **11**, 122-128 (in Ukrainian)
- Saravanakumar, K., Anburaj, R., Gomathi, V., & Kathiresan, K., 2016. Ecology of soil microbes in a tropical mangrove forest of south east coast of India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* **8**, 73-85.
- Schimel, J., & Schaeffer, S. M., 2012. Microbial control over carbon cycling in soil. *Frontiers in Microbiology* **3**, 348.
- Sessitsch, A., Weilharter, A., Gerzabek, M. H., Kirchmann, H., & Kandeler, E., 2001. Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. *Applied and Environmental Microbiology* **67**, 4215-4224.
- Stankevich S. A., Pylypchuk V. V., Lubyski M. S., Krylova H. B., 2016. Accuracy assessment of the temperature of artificial and natural earth's surfaces determining by infrared satellite imagery. *Space Science and Technology*, vol.22, №4, 20-28 (in Ukrainian)
- Tan, X., Chang, S. X., & Kabzems, R., 2005. Effects of soil compaction and forest floor removal on soil microbial properties and N transformations in a boreal forest long-term soil productivity study. *Forest Ecology and Management* **217**, 158-170.
- Taylor, L. A., Arthur, M. A., & Yanai, R. D., 1999. Forest floor microbial biomass across a northern hardwood successional sequence. *Soil Biology and Biochemistry* **31**, 431-439.
- Topatoglu, E., AY, N., Altun, L., & Serdar, B., 2016. Effect of altitude and aspect on various wood properties of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **40**, 397-406.
- Uchida, M., Nakatsubo, T., Kasai, Y., Nakane, K., & Horikoshi, T., 2000. Altitudinal differences in organic matter mass loss and fungal biomass in a subalpine coniferous forest, Mt. Fuji, Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 262-269.
- Väisänen, R., Roberts, M., Garland, J., Frey, S., & Dawson, L., 2005. Physiological and molecular characterisation of microbial communities associated with different water-stable aggregate size classes. *Soil Biology and Biochemistry* **37**, 2007-2016.
- Wang, H., Yang, S.-h., Yang, J.-p., Lv, Y.-m., Zhao, X., & Pang, J.-l., 2014. Temporal changes in soil bacterial and archaeal communities with different fertilizers in tea orchards. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B* **15**, 953-965.
- Williams, M. A., & Rice, C. W., 2007. Seven years of enhanced water availability influences the physiological, structural, and functional attributes of a soil microbial community. *Applied Soil Ecology* **35**, 535-545.
- Yang, Y., Wu, L., Lin, Q., Yuan, M., Xu, D., Yu, H., Hu, Y., Duan, J., Li, X., & He, Z., 2013. Responses of the functional structure of soil microbial community to livestock grazing in the Tibetan alpine grassland. *Global Change Biology* **19**, 637-648.
- Zhang, Y., Li, Y., Wang, L., Tang, Y., Chen, J., Hu, Y., Fu, X., & Le, Y., 2013. Soil microbiological variability under different successional stages of the Chongming Dongtan wetland and its effect on soil organic carbon storage. *Ecological Engineering* **52**, 308-315.

Résumés

Résumé

Le présent travail se fixe comme objectif d'étudier l'effet des facteurs climatiques et géographiques sur la biodiversité microbienne des sols du sous bassin versant de Oued K'sob (M'sila). Notre étude a été effectuée dans les sols du sous bassin versant de Oued K'sob (M'sila). Des déterminations microbiologiques (densité des principaux groupes microbiens et carbone microbien), ont été réalisées parallèlement aux déterminations physico-chimiques sur des échantillons composites provenant de la couche superficielle (0 –20 cm) des sept types des sols durant les quatre saisons de l'année 2017. Les résultats obtenus pour ces sols montrent une supériorité numérique de la densité de la microflore bactérienne suivie par les actinomycètes et enfin par les champignons. Une variabilité spatiale de la densité des communautés microbiennes du sol a été notée, entre les différents sites d'étude. Les analyses statistiques ont décelé un effet significatif des propriétés physicochimiques des sols étudiés sur la microflore du sol, les principaux paramètres étaient la texture, la porosité, l'humidité, le pH, la salinité, la matière organique et l'azote total. Il ressort aussi de notre étude que le maximum de la densité microbienne est observé au printemps. Nous avons remarqué aussi que la variation saisonnière s'est également avérée avoir une grande influence sur la densité et la biomasse microbienne du sol. Quant aux variations altitudinales, il est clairement constaté que les bactéries mésophiles et les champignons du sol étaient grandement influencées par ce facteur.

Mots clés : sol, communautés microbiennes, biomasse microbienne, saison, altitude, bassin versant de Oued K'sob, M'sila.

Abstract

The present work aims to study the effect of climatic and geographical factors on the microbial biodiversity of the soil of catchment area of Oued K'sob (M'sila). Our study was carried out in the soils of the catchment area of Oued K'sob (M'sila). Microbiological determinations (density of the main microbial groups and microbial carbon) were performed in parallel with the physico-chemical determinations of composite samples from the superficial layer (0-20 cm) of the seven soil types during the four seasons of the year 2017. The results obtained for these soils show a numerical superiority of the density of the bacterial microflora followed by the actinomycetes and finally by the fungi. Spatial variability in microbial soil density was noted between the different study sites. The statistical analyzes revealed a significant effect of the physicochemical properties of the soils studied on the soil microflora, the main parameters were texture, porosity, humidity, pH, salinity, organic matter and total nitrogen. It is also apparent from our study that maximum microbial density is observed in the spring. We also noted that seasonal variation was also found to have a large influence on soil microbial density and biomass. As for altitudinal variations, it is clearly observed that mesophilic bacteria and soil fungi were greatly influenced by this factor.

Key words: soil, microbial communities, microbial biomass, season, elevation, catchment area of Oued K'sob, M'sila.

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير العوامل المناخية والجغرافية على التنوع البيولوجي الميكروبي لتربة حوض وادي القصب (المسيلة). وقد أجريت دراستنا في تربة حوض وادي القصب (المسيلة). تم إجراء تحاليل ميكروبيولوجية (كثافة المجموعات الميكروبية والكربون الميكروبي) وفيزيوكيميائية للعينات المركبة من الطبقة السطحية (0-20 سم) لسبعة أنواع من التربة خلال الفصول الأربعة لسنة 2017. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها لهذه التربة تفوقاً عددياً لكثافة البكتيريا الدقيقة تليها الأكتينومييسات وأخيراً الفطريات. ولوحظ التباين المكاني في الكثافة الميكروبية للتربة بين مواقع الدراسة المختلفة. كشفت التحليلات الإحصائية عن وجود تأثير كبير للخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة التي تمت دراستها على الكائنات الدقيقة للتربة، ومن أهم الخصائص هي نسيج التربة والمسامية والرطوبة ودرجة الحموضة والملوحة والمواد العضوية والنيتروجين الكلي. كما يتضح من دراستنا أن الحد الأقصى للكثافة الميكروبية لوحظ في الربيع. لاحظنا أيضاً أن التباين الموسمي وجد أيضاً أن له تأثير كبير على الكثافة الميكروبية للتربة والكتلة الحيوية. أما بالنسبة لتغيرات الارتفاع، فقد لوحظ بوضوح أن بكتيريا وفطريات التربة تأثرت إلى حد كبير بهذا العامل.

الكلمات المفتاحية: التربة، المجتمعات الميكروبية، الكتلة الحيوية الميكروبية، الفصل، الارتفاع، حوض وادي القصب، المسيلة.