



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département de Microbiologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : *Microbiologie Générale et Biologie Moléculaire Des Microorganismes*

Intitulé :

Description préliminaire de la flore bactérienne d'un biotope dunaire du Sud Algérien

Présenté par

BOUAFIA Lydia Nawel et BOUDEFFA Abir

Jury d'évaluation :

- Président du jury** : M. HADDI M.L. (Professeur- UFM Constantine).
Rapporteur : Mlle. ARABET D. (Maitre de conférence- UFM Constantine).
Co-rapporteur : M. KADEM D. (Professeur- UFM Constantine).
Examinatrice : Mme. MIHOUBI I. (Professeur- UFM Constantine).

Année universitaire
2014 - 2015

Remerciements

On remercie *M^{lle} ARABET D.* d'avoir accepté de nous encadrer et pour le temps qu'elle a consacré à l'accomplissement de ce travail.

Nos sincères remerciements sont adressés à Monsieur *HADDI M.L.* pour tous les efforts et l'aide précieuse qu'il nous a apporté. Sa disponibilité, sa patience et ses conseils nous ont beaucoup guidés tout au long de notre travail. On lui présente notre sincère reconnaissance. On le remercie aussi de nous avoir fait l'honneur de présider le jury.

On voudrait remercier particulièrement Monsieur *KADEM D.E.D.* qui nous a régulièrement suivi dans la réalisation pratique de ce travail. On le remercie pour son soutien, ses conseils et sa contribution à l'avancement du mémoire.

On les remercie tous les deux de s'être déplacés afin de nous procurer les échantillons nécessaires à la réalisation de notre étude.

On remercie vivement Madame *MIHOUBI I.* pour l'intérêt qu'elle a accordé à ce travail en acceptant de l'évaluer. Qu'elle trouve ici le témoignage de notre respectueuse gratitude.

Enfin merci à nos familles, à nos parents pour leur soutien, leurs encouragements et leur patience durant ces années d'études.

Merci à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Liste des figures

Figure 1	Morphologie d'une dune	p.4
Figure 2	Cycle de différenciation de la bactérie <i>Ramlibacter tataouinensis</i>	p. 11
Figure 3	Esquisse de l'emplacement de la dune explorée.....	p.14
Figure 4	Photo illustrant une partie de la dune.....	p.14
Figure 5	Graphique représentant les caractéristiques physico-chimiques des échantillons selon la partie de la dune.....	p.20
Figure 6	Aspect macroscopique des colonies de l'échantillon 1 (sommet de la dune, dilution 10^{-6})	p.22
Figure 7	Exemples de colonies macroscopiquement distinctes isolées des échantillons 3 (sommet de la dune) et 5'' (flanc Ouest de la dune).....	p.23
Figure 8	Aspect des colonies bactériennes obtenues sur milieu LBS de l'échantillon 3 (flanc Est de la dune, dilutions de 10^{-1} à 10^{-8}).....	p. 24
Figure 9	Les colonies bactériennes d'aspect macroscopique distinct isolées à partir de l'échantillon 3 (flanc Est, dilutions 10^{-1} à 10^{-3}).....	p.24

Liste des tableaux

Tableau 1	Caractéristiques physicochimiques du sol de dune étudié.....	p.20
Tableau 2	Résultats de la coloration de Gram sur milieu LB et milieu LBS...	p.25

Liste des abréviations

C_ε : Conductivité électrique

LB : Luria Bertani

LBS : Luria Bertani salé

MF : Matière fraîche

MM : Matière minérale

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

mS/cm : millisiemens/cm

pH : Potentiel hydrogène

TDS : Total Dissolved Salts

SOMMAIRE

<i>Introduction</i>	1
---------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1- Les dunes	3
1.1- Définition	3
1.2- Formation	3
1.3- Caractéristiques des dunes	3
1.4- La biocénose dunaire	4
2- Caractéristiques globales du sable	5
2.1- Caractéristiques physico-chimiques	5
2.1.1-La température	5
2.1.2-Teneur en air (aération)	5
2.1.3-Teneur en eau	5
2.1.4- Salinité	6
2.1.5- pH	6
2.1.6- Teneur en matière organique	7
2.1.7- Effet de la végétation	7
2.1.7.1- Actions des plantes sur les microorganismes	8
2.1.7.2- Actions des microorganismes sur les plantes	8
2.1.8- Diversité bactérienne dans le sable	8
2.1.9- Présence des champignons et algues dans le sol désertique	10
3- Compétition bactérienne	10
4- Adaptation bactérienne	10
4.1- Adaptation au manque d'eau	10
4.2- Adaptation à la température	12
4.3- Adaptation à la salinité	12

Chapitre II Matériel et méthodes

1- Matériel	14
1.1- Zone d'étude	14
1.2- Site de prélèvement	15
1.3- Prélèvement des échantillons	15
1.4- Méthode de prélèvement	15
2- Méthodes d'analyse physico-chimique et microbiologique	15
2.1- Analyses physico-chimiques	15
2.1.1- Le pH	15
2.1.2- La conductivité électrique	15
2.1.3- La matière sèche	16
2.1.4- Evaluation du taux des matières minérales et organiques	16
2.2 Analyse microbiologique	17
2.2.1- Microorganismes recherchés	17
2.2.1.1- Milieux de culture	17
2.2.1.2- Conditions de culture	17

2.2.1.2.1- Isolement des souches bactériennes	17
Conditions d'enrichissement	17
Conditions d'isolement	18
2.2.1.3- Etude morphologique	18
2.2.1.3.1- Etude macroscopique	18
2.2.1.3.2- Etude microscopique	18

Chapitre III Résultats et discussions

1- Etude physico-chimique des échantillons de sol dunaire	19
1.1- Taux d'humidité du sol	19
1.2- Teneur en matières organiques	19
1.3- pH	21
1.4- Conductivité électrique	21
2- Etude microbiologique des échantillons du sol dunaire	21
2.1- Isolement sur milieu LB	21
2.2- Isolement sur milieu LBS	23
2.3- Coloration de Gram des colonies obtenues	23
<i>Conclusion</i>	30
<i>Références bibliographique</i>	31
<i>Annexe</i>	

Introduction

Le Sahara, le plus vaste désert chaud, représente l'un des environnements terrestres les plus extrêmes à cause de deux principaux facteurs limitants : une teneur en eau très basse et une température environnementale très élevée. Ces deux facteurs font que le désert ne soit pas propice à la vie (Kilian, 1943).

Contrairement aux idées reçues, de nombreux travaux ont démontré que le Sahara est loin d'être une étendue stérile, dénuée de vie. Une grande biodiversité (plantes, animaux et microorganismes) arrive à y survivre (Rognon, 1994).

Bactéries, actinomycètes, champignons et algues sont les micro-organismes qui entrent dans la composition des microbiocénoses des sols arides (Sasson, 1967). Les bactéries forment tant au plan quantitatif qu'au plan fonctionnel le groupe majeur des microorganismes du sol (Morel, 1989).

La présence d'une telle grande diversité dans un écosystème aussi pauvre implique la capacité de ces organismes vivants à résister aux conditions extrêmes qui les entourent.

L'exploration de la biodiversité des organismes vivants et de leurs divers mécanismes de résistance présente donc un intérêt de tout premier ordre notamment dans le sol : base de toute forme de vie (Brown, 2006).

La richesse microbienne du sable est particulièrement grande et malgré les avancées récentes des techniques scientifiques, la diversité absolue des bactéries est mal connue et a été longtemps considérée comme « hors de portée » (Curtis *et al*, 2002).

Dans le contexte de ce travail qui entre dans le cadre d'un mémoire de fin de cycle (Master) c'est cette orientation que nous avons prise dans notre travail.

Pour ce faire notre contribution a porté sur l'étude de la distribution spatiale, de la diversité et de l'isolement des souches bactériennes résistantes aux conditions extrêmes d'un sol sableux d'une dune du Sahara algérien.

Ce choix est motivé par le fait que le désert algérien, vaste et riche n'a été que très peu étudié, les études relatives aux microorganismes vivant dans les sols dunaires a été totalement négligées jusqu'à présent.

Nous présentons ce travail en deux volets :

- Une première partie bibliographique regroupe le nécessaire de connaissances théoriques en rapport avec notre thème;
- Une deuxième partie expérimentale comprenant deux chapitres :
 - ✓ un chapitre : matériel et méthodes ;
 - ✓ un chapitre qui se focalisera sur les résultats obtenus et leur interprétation.

Enfin, les conclusions à tirer et les suggestions à proposer seront fonction des résultats obtenus.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Dans cette rubrique sont regroupées l'ensemble des connaissances théoriques ayant traité l'écosystème "Dune" (Biotope et biocénose), partie intégrante d'une vaste unité biogéographique : le désert (Biome).

Ce chapitre nous sera d'une grande utilité dans l'interprétation des résultats. Particulièrement à la description des caractéristiques de l'environnement dunaire et son impact sur la microcénose.

1. Les dunes

1.1 Définition

Le mot *dune* vient d'un mot néerlandais *duin* : colline.

Une dune est un relief ou un modelé composé de sable.

Les grandes étendues de sable du Sahara se nomment *erg*. Certaines ont la forme d'un croissant : ce sont les *barkhanes*.

Toutes les dunes étant composées de sable, on ne parle pas de « dune de sable », sauf pour préciser la qualité du sable qui la compose : « dune de sable blanc ».

1.2. Formation

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté au ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé.

1.3. Caractéristiques des dunes

Une dune présente un profil transversal dissymétrique avec une pente douce du côté du vent et une pente plus raide du côté terre.

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant. Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune

incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35 °) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent (fig. 1).

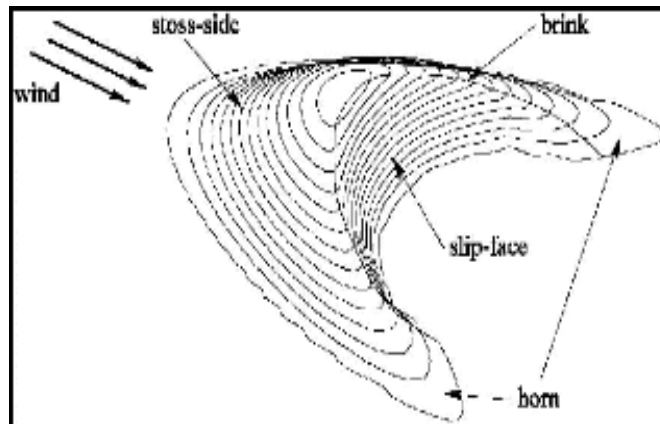


Figure 1- Morphologie d'une dune (Hermann and Rognon, 2000)

1.4. La biocénose dunaire

Bactéries, actinomycètes, champignons et algues, sont les microorganismes qui entrent dans la composition des microbiocénoses des sols arides (Sasson, 1967). Les bactéries forment tant au plan quantitatif qu'au plan fonctionnel le groupe majeur des microorganismes du sol (Morel, 1989).

Ainsi, dans un gramme de sol, on peut trouver de 700 à 1000 espèces bactériennes, que l'on soit dans le désert ou dans une forêt. La seule différence, c'est que, dans ce milieu extrême, il y a peu d'individus par espèce. Beaucoup de ces bactéries vivent sur la surface de la croûte de quelques millimètres à plusieurs centimètres de profondeur du sol (Heulin, 2010).

En raison de la basse teneur hydrique, les bactéries du sol désertique utilisent des stratégies pour puiser dans les ressources disponibles afin de survivre. Elles développent alors divers mécanismes d'adaptation aux conditions extrêmes de vie (Killian, 1943).

La richesse microbienne du sable est particulièrement grande et malgré les avancées récentes des techniques scientifiques, la diversité absolue des bactéries est mal connue et a été longtemps considérée comme « hors de portée » (Curtis *et al*, 2002).

Le sol saharien mérite donc un intérêt particulier notamment du point de vue microbiologique.

2. Caractéristiques globales du sable

2.1- Caractéristiques physico-chimiques

2.1.1. La température

La température est l'un des principaux facteurs physiques intervenant de manière directe sur le besoin des microorganismes en énergie thermique qui favorise leur croissance et de manière indirecte en influençant la vitesse des phénomènes de transformations chimiques (Calvet, 2013).

L'optimum thermique de la vie des microorganismes du sol est généralement situé à 25°C (Killian, 1943).

Aux heures matinales où la température est en dessous de 25°C l'intensité respiratoire augmente rapidement avec l'augmentation de la température du sol ce qui favorise la croissance microbienne. Dès lors où celle-là dépasse l'optimum l'intensité respiratoire diminue (Killian, 1943).

2.1.2. Teneur en air (aération)

L'oxygène a une très grande influence sur l'activité des microorganismes du sol. Sa teneur dans la phase gazeuse du sable détermine le type de métabolisme : respiration aérobie ou anaérobie ou bien fermentation (Calvet, 2013).

Pour pouvoir se rendre compte du côté dynamique de la vie microbienne, des chercheurs ont mesuré la respiration du sol. La méthode consiste à aspirer à travers le sol un courant d'air préalablement décarbonisé. Le CO₂ formé est absorbé par la chaux sodée et dosé gravimétriquement. Le dégagement de CO₂ dépend directement de l'activité microbienne. Il en résulte des phénomènes de décomposition de la matière organique provoquée par les bactéries et les champignons (Killian, 1943).

2.1.3. Teneur en eau

C'est le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir. Elle dépend de la porosité et la perméabilité du sable (Calvet, 2003).

L'eau joue un rôle particulièrement important. Lorsque la teneur en eau diminue, le nombre de bactéries diminue aussi très rapidement (Maier et al., 2011).

Le minimum de la teneur hydrique du sol indispensable à la vie microbienne est beaucoup moins élevée que ce qu'on supposait autrefois. Très fréquemment les sols étudiés étaient desséchés à un tel point qu'ils ne perdaient plus de poids dans l'étuve. Comme ils renferment

malgré tout, des organismes vivants, on conclue que les limites de vie microbienne sont beaucoup plus étendues. Il est donc probable que les microorganismes du sol :

- se contentent de quantités infimes d'eau,
- ou bien l'eau qu'ils utilisent résulte d'une condensation dans les espaces capillaires du sol, à la suite du changement très brusque des températures qui caractérisent précisément les sols désertiques (Killian, 1943).

Les microorganismes cessent leur vie active dès que la tension de vapeur tombe au-dessous de 96%. Donc les microorganismes du sol ont à vaincre des résistances énormes s'opposant à l'absorption de l'eau dans les sols désertiques. Le Sahara n'étant pas complètement sec car recevant annuellement de 50 à 100mm de pluie, les minima hydriques des sols sont en réalité assez élevés (Killian, 1943).

Par contre, les organismes qui y survivent à l'état dormant, profitent des périodes de conditions plus clémentes. Ces organismes sont qualifiés d'anhydrobiotiques (Garcia-Pichel and Pingault, 2001).

2.1.4. Salinité

La salinité est identifiée et qualifiée à partir de la composition ionique du sable. La salinisation est le processus d'accumulation des sels minéraux solubles dans le sol. Ces sels dissous sont constitués d'un mélange de cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et d'anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) (Tanji, 2002). Un sol est considéré salin lorsque sa conductivité électrique (Cé) est supérieure à 4 déciSiemens par mètre (dS/m) (Hillel, 2005). La salinisation est identifiée comme une cause majeure de la dégradation des terres, particulièrement dans les régions arides et semi-arides (Calvet, 2003).

2.1.5. pH

Le pH a une influence sur la composition microbienne du sol et sur certains aspects de l'activité des microorganismes (Davet, 1996).

L'acidité a un effet direct sur les microorganismes par la présence de protons d'aluminium, de manganèse, de calcium. Elle exerce aussi un effet indirect par son influence sur les propriétés physico-chimiques du sable ce qui modifie la biodisponibilité des éléments nutritifs (Calvet, 2013). Les microorganismes présentent un très large domaine dans la tolérance à l'égard du pH mais il existe entre eux de grandes différences. Les champignons sont généralement prépondérants dans les sols acides tandis que les bactéries prédominent dans les sols neutres

ou légèrement alcalins. Les actinomycètes sont particulièrement sensibles à l'acidité (Davet, 1996).

2.1.6. Teneur en matière organique

La matière organique du sol consiste en des résidus partiellement décomposés des plantes qui ont occupé la terre ; elle ne provient pas entièrement de plantes, les microorganismes du sol y font une importante contribution (Davet, 1996).

La teneur et la composition de la matière organique dans le sol à un effet favorable pour les propriétés chimiques, physiques et microbiologiques du sol comparée à la matière minérale (Maier et *al.*, 2011).

Le sol désertique renferme relativement beaucoup d'azote nitrique. Son abondance peut s'expliquer par l'existence d'une nitrification active malgré la grande sécheresse qui caractérise ce sol. Le NO_3^- formé n'est pas lessivé grâce à l'absence des pluies. En ce qui concerne l'azote total, son taux est relativement faible en comparaison à celui des sols non désertiques (Killian, 1943).

La présence constante de nitrates prouve qu'il s'effectue, même dans les sols désertiques, une fixation d'azote atmosphérique par des espèces nitrifiantes mais aussi d'espèces fixatrices d'azote et que ceux-là sont à l'état de vie active. Cette pauvreté en azote est en relation directe avec la teneur faible en humus (les débris végétaux s'accumulent à la surface mais sont vite décomposés et oxydés avant même d'être incorporés au sol) (Unesco, 1953).

La diversité des micro-organismes dans les zones désertiques ont permis de considérer ces sols comme riches malgré la faible quantité en humus. Tous les groupes physiologiques habituels de microorganismes sont présents même dans les régions les plus secs et sablonneuses (Hauke-Pacewiczowa et *al.*, 1969).

Le nombre de microorganismes par unité d'azote des sols augmentent fortement selon le changement du climat à partir des sols froids et humides aux sols chauds et arides. Les microorganismes augmentent dans les sols forestiers, les tourbes et les sols des prairies et diminuent légèrement dans les sols désertiques (Brown, 2013).

2.1.7. Effet de la végétation

Les ergs sont caractérisés par une grande pauvreté floristique. Le couvert végétal est dispersé et parfois totalement absent. Les végétaux qui se développent sur les sols étudiés, présentent plusieurs caractères morphologiques orientés vers l'économie de l'eau. Les grandes concentrations en sel dissous dans la solution du sol ont des effets délétères sur les végétaux.

Certains sont adaptés à ces concentrations par différents mécanismes physiologiques, ce sont les halophytes (Zhu, 2007).

L'influence des plantes sur les populations microbiennes est représentée dans les sols du Sahara par la découverte d'un plus grand nombre de bactéries dans la rhizosphère que dans les sols sans racines. *Azotobacter* et *Clostridium* ont été isolés dans le sol près des racines des plantes mais pas dans les zones loin des racines (Hauke-Pacewiczowa et al., 1969).

Les recherches de Killian ont abouti à un résultat affirmant que si l'on réussissait à créer des conditions physiques favorables pour l'activité de la microflore on pourrait ainsi assurer en grande partie le ravitaillement des plantes et éviter l'achat onéreux d'engrais.

2.1.7.1. Actions des plantes sur les microorganismes

On peut identifier quatre actions principales :

- ✓ Source de carbone
- ✓ Source de nutriments.
- ✓ Action de compétition pour les éléments chimiques en solution.
- ✓ Action sur la biodisponibilité de l'eau par la diminution du potentiel hydrique due à l'alimentation hydrique des plantes.

2.1.7.2. Actions des microorganismes sur les plantes

- ✓ fixation symbiotique de l'azote atmosphérique et minéralisation des formes organiques de l'azote, du phosphore et du soufre.
- ✓ Production de substances ayant des propriétés physiologiques utiles pour les plantes : substance de croissance.
- ✓ Les sels potassiques et phosphoriques sont sous forme soluble donc immédiatement absorbable par les racines végétales. Le capital de ces matières nutritives est extrêmement important. Il semble certain qu'il existe une série de bactéries transformant les combinaisons phosphoriques insolubles en combinaisons facilement solubles et pouvant être absorbées par les racines. Il existe aussi un rapport entre le nombre microbien et la teneur en phosphates (Calvet, 2003).

2.1.8. Diversité bactérienne dans le sable

La population microbienne dans le sol désertique peut varier autant que n'importe quelle autre zone climatique. Certains déserts arides sévères ont de faibles populations de microorganismes. Ces faibles nombres sont associés à la pluviométrie extrêmement faible et

irrégulière et l'absence de vie végétale supérieure. La population microbienne dans les sols sablonneux du désert Saharien est minime par rapport à la plupart des déserts (Killian, 1943). Killian et Feher (1943), sont arrivés à isoler 98 espèces de Bactéries du sol du Sahara.

Les extrêmophiles sont des organismes florissant dans des habitats où la température, le pH, la salinité ou la pression sont extrêmes (Ciaramella et al., 2002), ils sont regroupés en catégories selon le stress auquel ils sont adaptés :

- les thermophiles et psychrophiles sont respectivement adaptés aux hautes et basses températures, des plus chaudes sources hydrothermales jusqu'au permafrost sibérien (Bakermans et al., 2003).
- les piézophiles ou barophiles sont adaptés aux fortes pressions, comme celles des grands fonds océaniques (Margesin, 2004).
- les acidophiles, alcalinophiles et halophiles sont adaptés à l'acidité, la basicité ou la forte salinité du milieu (Van der Wielen et al., 2005).
- les aérophiles résistent à un transport atmosphérique et sont fréquents dans les aérosols, y compris au-dessus des déserts (Lighthart and Shaffer, 1994).

Les microorganismes du sol dépendent d'une part, du pourcentage utilisable de sa capacité en eau, de l'autre, de la tension de vapeur relative de l'atmosphère du sol (Maier et al., 2011).

Malgré la teneur minimum en eau des sols désertiques et les températures extrêmement élevées auxquelles ils sont exposés, ils renferment toujours des microorganismes à l'état de vie active et dégagent un taux appréciable de CO₂ (Killian, 1943).

Il existe un rapport net entre la capacité en air, la teneur en eau du sol, et le nombre des bactéries (Cable and Huxman, 2004).

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

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

La répartition horizontale des microorganismes est en fonction du type de végétation (Bouillard et al, 1962).

Le nombre de microorganismes dans le sol du désert semble être associé à l'abondance de nutriments carbonés disponibles dans le sol pour la synthèse et la dégradation. L'Azote est un facteur tout aussi important pour l'accroissement des populations bactériennes dans le sol désertique (Killian, 1943).

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

Il est généralement impossible de réaliser un inventaire exhaustif des types bactériens présents, mais les méthodes statistiques utilisant des modèles de structure de communauté permettent de déterminer les types majoritaires les plus abondants pour estimer le nombre de taxons présents (Cases and Lorenzo, 2002).

2.1.9. Présence des champignons et algues dans le sol désertique

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

3. Compétition bactérienne

Zhou et *al.*, (2002) ont étudié différents sols et leurs horizons contenant différents teneurs en eau et en matière organique. Un sol de surface, non saturé en eau et pauvre en carbone, a montré une communauté microbienne très uniforme au sein de laquelle toutes les espèces étaient également abondantes. L'horizon inférieur du même sol, lui aussi pauvre en carbone mais saturé en eau, montrait une distribution spécifique plus classique dominée par quelques taxons. On considère très généralement que la dominance est le résultat d'interactions compétitives. Une grande abondance de ressources réduit la compétition permettant ainsi l'établissement d'une grande diversité. L'existence de la ressource sous différentes formes peut entraîner une spécialisation des espèces, réduisant la compétition.

4. Pouvoir d'adaptation

4.1- Adaptation au manque d'eau

Les bactéries qui se développent dans le Sahara sont des bactéries qui s'adaptent à la dessiccation selon différents mécanismes. Ces organismes possèdent des systèmes qui minimisent les pertes d'eau. A la différence des spores, qui sont presque totalement déshydratées, les kystes ont une teneur en eau comparable à celle des cellules végétatives. Ce n'est donc pas la température, mais l'eau qui conditionne leur développement. Ainsi, l'eau de

la rosée avant le lever du soleil suffit pour la croissance des microorganismes (Maier et al., 2011).

A cause de la raréfaction de l'eau, ces bactéries utilisent des stratégies pour puiser dans les ressources disponibles afin de se développer. Certaines bactéries possèdent des cycles cellulaires qui leurs permettent de s'enkyster afin de se protéger contre la déshydratation (Billi and Potts, 2002). Elles sont même capables de se diviser à l'intérieur de leur enveloppe protectrice (fig. 2). En fin de nuit lors de la rosée, elles peuvent se diviser très rapidement sans avoir à passer par une étape de germination pour se transformer en bâtonnet afin de se déplacer et se disséminer plus loin. Leur membrane extérieure est constituée d'un polymère bien particulier qui ne laisse pas sortir les réserves d'eau vers le milieu extérieur, mais l'eau présente sur les grains de sable peut pénétrer au travers de la membrane (<http://www.futura-sciences.com>, 2011).

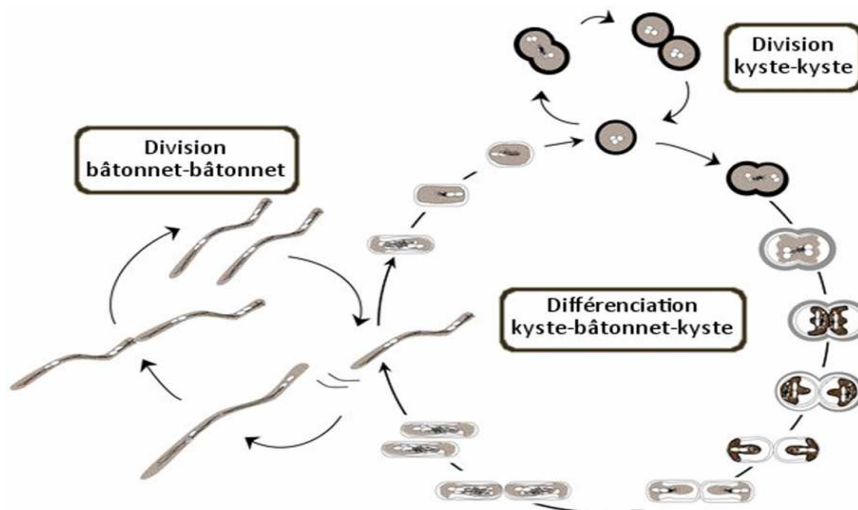


Figure 2- Cycle de différenciation de la bactérie *Ramlibacter tataouinensis*. La bactérie du désert est capable de se diviser aussi bien en forme bâtonnet qu'en forme de kyste. Elle passe d'une forme à l'autre au cours d'un cycle de différenciation. (De Luca et al., 2011).

Beaucoup d'espèces durant la période de pluies sont dépourvues de spores, parmi eux les genres *Achromobacter* et *Cellulomonas*, qui d'ailleurs n'en produisent jamais. Ce qui prouve que les microorganismes existent au désert à l'état de vie active (Killian, 1943).

Les espèces les plus typiques du sol désertique :

Bacillus aureus, *Achromobacter candicans*, *Clostridium album liquefaciens n. sp.*, *Proteus vulgaris*, *Clostridium alboluteum n. sp.*, *Cellulomonas cellasea*, *Bacillus closterioides*, *Cellulomonas biazotea*, *Clostridium hyalinum n. sp.*, *Actinomyces nigricans n. sp.*, *Flavobacterium lacunatum*, *Cellulomonas minuscula*, *Cellulomonas bibula*,

Micrococcus candicans, *Achromobacter delicatulum*, *Clostridium album non liquefaciens n. sp.*, *Bacillus megatherium*, *Streptococcus terricola n.sp.*

4.2- Adaptation à la température

En ce qui concerne la résistance des microorganismes aux températures élevées, la plupart d'entre eux sont capables de supporter un échauffement considérable du sol en produisant des spores. Ils se maintiendraient ainsi à l'état végétatif à des températures situées entre 50° et 60°C (Killian, 1943).

Les microorganismes ne sont pas obligatoirement tous soumis à ces fortes températures. A une profondeur de 20 à 30 centimètres qui est l'endroit où l'activité microbienne est à son maximum, la température est plus basse. L'aération plus ou moins importante de ces sols secs contribue à son tour à diminuer la chaleur (Calvet, 2003).

Un des groupes de microorganismes les plus dominants dans les sols désertiques sont : les *Actinomycètes*. Ils semblent mieux adaptés que tous les autres groupes à supporter les conditions extrêmes de sécheresse et de réaction alcaline (Killian, 1943).

Les bactéries cultivables à partir du sable sont, par définition, résistantes aux stress de l'environnement désertique (Maier *et al.*, 2011).

Le développement des activités humaines élargit encore la gamme de conditions «extrêmes». L'industrialisation et les pollutions associées, notamment chimiques, organiques et radiologiques, créent des environnements artificiels qui sont aussi en quasi-totalité colonisés par des micro-organismes (Backman *et al.*, 2004).

4.3. Adaptation à la salinité

Dans leur habitat naturel, les micro-organismes sont fréquemment exposés à des variations de pression osmotique du milieu environnant. En effet, la salinité élevée du sol peut interférer avec la croissance et l'activité des bactéries. Une diminution de celle-ci dans les sols salins conduit à une accumulation de la matière organique non dégradée, ce qui agit négativement sur la disponibilité des nutriments nécessaires à la croissance végétale (Zahran, 1997). La membrane cytoplasmique des bactéries est perméable à l'eau mais constitue une barrière efficace vis-à-vis des solutés du milieu et des métabolites présents dans le cytoplasme (Csonka, 1989).

Les bactéries halophiles sont adaptées à la vie dans un environnement hypersalé. Les halobactéries ont développé des mécanismes d'adaptation leur permettant de disposer d'une

machinerie cellulaire capable de supporter de fortes concentrations intracellulaires de sel, principalement du KCl (Oren, 1999).

L'osmorégulation est le processus majeur d'osmoadaptation contrôlant l'afflux et l'efflux de solutés de la cellule.

En réponse à des teneurs élevées de sel du milieu externe, la cellule bactérienne maintient une osmolarité interne supérieure à celle de l'environnement extracellulaire (Pocard *et al.*, 1994). Elle accumule dans le cytoplasme des molécules osmotiquement actives afin de restaurer une pression de turgescence cellulaire (Kempf et Bremer, 1998). La stratégie d'osmoadaptation chez les bactéries halotolérantes, et modérément halophiles consiste en premier lieu en l'accumulation d'ions K⁺ et de glutamate (Le Rudulier *et al.*, 2002).

Chapitre II : matériel et méthodes

1. Matériel

1.1. Zone d'étude

La zone d'étude se situe entre la ville de Biskra et celle d'El-Meghaier. (fig. 2). Plus exactement à une centaine de kilomètres au sud de Biskra et à une dizaine de kilomètres au nord d'El-Meghaier sur l'axe routier le long de la nationale 3 (RN 3).



Figure 3- Esquisse de l'emplacement de la dune explorée (plan routier d'après Google).

1.2. Site de prélèvement

La dune explorée (photo 1), longue d'environ une centaine de mètres sur une largeur d'une trentaine de mètres, orientée Nord-Sud., caractérisée par une texture sableuse et une structure particulière fine. L'ensemble est soumis au vent soufflant du sud au nord.

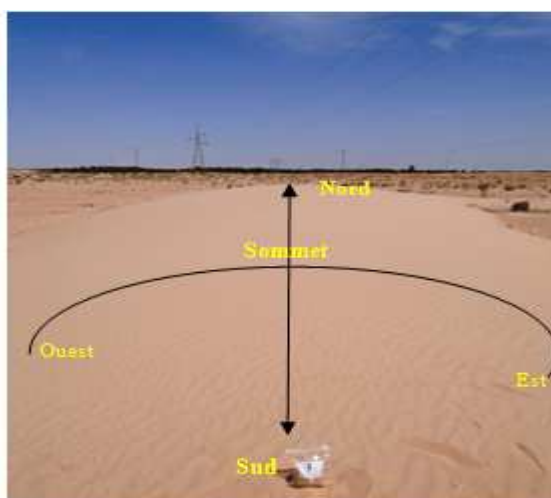


Figure 4- Photo illustrant une partie de la dune (sommets)(Photo, Haddi. ML, 2015).

1.3. Prélèvement des échantillons

18 échantillons de sables ont été prélevés, répartis de la manière suivante :

Six (06) échantillons au niveau du sommet de la dune, numérotés de 1 à 6.

Six (06) échantillons au niveau du flanc Est numérotés de 1' à 6'.

Six (06) échantillons au niveau du flanc Ouest numérotés de 1'' à 6''.

1.4. Méthode de prélèvement

Les échantillons de sable, environ 250 g à 300 g, sont prélevés dans les conditions de stérilité à la main, en surface entre 0 et 10 cm.

Les échantillons prélevés sont transportés dans des sachets stériles en plastique, fermés hermétiquement pour analyse au niveau du laboratoire.

La température au moment du prélèvement était de 31 °C.

2. Méthodes d'analyse physico-chimique et microbiologique

2.1. Analyses physico-chimiques

Les analyses ont concerné les paramètres suivants : le pH ; la conductivité électrique (teneur en sels totaux), la matière sèche et la matière organique. Paramètres ayant un impact direct sur les cortèges microbiens : bactériens et fongiques.

2.1.1. Le pH

La détermination du pH s'effectue en mesurant la force électromotrice qui apparaît entre deux électrodes plongées dans la solution à étudier. L'une d'entre elle est l'électrode de mesure ou électrode indicatrice (électrode de verre). L'autre est l'électrode de référence ou de comparaison.

Le pH est mesuré dans une suspension sol/eau suivant un rapport 1/2.5, (20 g de sable séché + 50 ml d'eau déminéralisée) après agitation une minute avec une baguette de verre et repos de deux heures la mesure est faite en plongeant l'électrode dans le liquide surnageant jusqu'à 1cm au dessus du diaphragme. Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes. On note les valeurs à la deuxième décimale près.

Le pH est mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre de terrain équipé d'une électrode verre-calomel, préalablement étalonné à l'aide des pH étalons 7 et 9.

2.1.2. La conductivité électrique

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre de terrain équipé d'une cellule (constante de la cellule = 1), d'une sonde pour la mesure de la température et d'un convertisseur intégré

convertissant les Siemens en g/l de sel (TDS). Les résultats sont directement lus sur un écran digital.

Cette mesure est très importante car elle donne directement une estimation de la minéralisation totale. La conductivité est naturellement également influencée par le pH, la valence des ions et leur degré d'ionisation.

2.1.3. La matière sèche

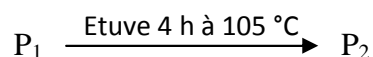
L'évaluation du taux de matière sèche est basée sur le principe du suivi de la perte d'humidité jusqu'à poids constant à 105 °C.

Protocole

Un échantillon de poids connu P_1 (3 g) est placé à l'étuve à 105 °C pendant 4 heures.

Après 4 heures l'échantillon est retiré et pesé (P_2) (après refroidissement dans un dessiccateur).

Le taux de MS est obtenu de la manière suivante :



$$P_1 - P_2 = \Delta E \text{ (Quantité d'eau évaporée)}$$

$$\% \text{ MS} = P_1 - \Delta E = P_2 \text{ (poids sec)}$$

Expression des résultats : Le résultat est exprimé en g/100 g de MF.

2.1.4. Evaluation du taux des matières minérales et organiques

Méthode

Évaluation du taux de matière organique par la méthode d'incinération à 520 °C pendant 5 heures.

Principe

Pour doser la MO, l'échantillon est soumis à une calcination au four à moufle.

Protocole

La méthode consiste à porter progressivement un échantillon de poids connu à 520 °C pendant 5 heures. On calcule la perte de poids obtenue après calcination et refroidissement de l'échantillon,

$$P_1 \text{ (pois sec connu)} \xrightarrow{\text{Four à } 520^{\circ}\text{C-5H}} P_2(\text{MM})$$

$$P_1 - P_2 = \Delta O \text{ (MO perdue par calcination).}$$

$$\% \text{ MM} = P_1 - \Delta O = P_2$$

Expression des résultats : le résultat est exprimé en g de MM/100 g MS et g MO/100 g MS.

2.2 Analyse microbiologique

2.2.1. Microorganismes recherchés

Cette analyse est effectuée pour la recherche de la flore bactérienne présente dans le sable dunaire.

2.2.1.1. Milieux de culture

Les souches bactériennes décrites dans cette étude ont toutes été isolées et cultivées à 30 °C en aérobiose sur milieu LB (Luria Bertani).

Le milieu LB contient : extrait de levure 5 g/L, tryptone 10 g/L et NaCl 5 g/L (Miller, 1972).

Le milieu solide correspondant contient 15 g d'agar par litre de milieu.

Le milieu LBS (Luria Bertani Salé) contient : extrait de levure 5 g/L, tryptone 10 g/L et NaCl 10 g/L. Le milieu solide correspondant contient 15 g d'agar par litre de milieu. Ce milieu a été synthétisé pour favoriser la croissance des espèces bactériennes résistantes à une plus forte teneur en sel en imitant les conditions du milieu original.

2.2.1.2. Conditions de culture

2.2.1.2.1. Isolement des souches bactériennes

➤ Conditions d'enrichissement

Dans des Erlenmeyers de 50 ml, deux grammes de chaque échantillon de sol ont été dissouts et homogénéisés dans 20 ml de LB puis incubés à 30 °C sous agitation pendant 6 heures.

Les enrichissements sur milieu LBS ont été réalisés de la même manière décrite ci-dessus.

➤ Conditions d'isolement

A partir des deux enrichissements, des dilutions de 10^{-1} à 10^{-6} (10^{-8} pour le LBS) ont été réalisées. 100 µl de chaque dilution ont été ensuite étalés sur des boîtes de Pétri contenant du LB agar.

Pour chaque dilution, trois répliques ont été réalisées ensuite incubées à 30 °C sur la nuit. Après incubation, des colonies séparées et distinctes ont été observées à partir de la dilution 10^{-4} .

Selon leur aspect macroscopique (couleur, forme, taille, viscosité...), les différentes colonies bactériennes ont été distinguées.

Chaque colonie sélectionnée a été ensuite repiquée et cultivé séparément sur du LB-agar ou du LBS-agar dans les mêmes conditions décrites ci-dessus.

2.2.1.3. Etude morphologique

2.2.1.3.1. Etude macroscopique

L'examen macroscopique est une observation à l'œil nu des colonies obtenues sur boîtes de Pétri, ce qui permet de déterminer ; la forme, la taille, l'opacité, le contour et la couleur.

2.2.1.3.2. Etude microscopique

➤ ***Observation après coloration de GRAM***

C'est une coloration différentielle qui permet de diviser les bactéries en deux grands groupes Gram+ et Gram-, selon leur affinité pour les colorants liés à la structure générale de leur paroi. Elle est définie comme étant une double coloration (Guiraud, 2003).

Chapitre III : Résultats et discussion

Pour aborder le sujet, nous avons décidé de déterminer certaines caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du sol de dune collecté. Pour ceci, les tests ont été réalisés sur l'un des échantillons en balayant les trois parties de la dune : Sommet (échantillon 3), Flanc Est (échantillon 3') et Flanc Ouest (échantillon 3'') (Tableau 1, fig. 4).

1. Etude physicochimique des échantillons de sol dunaire

1.1 . Taux d'humidité du sol

Les taux d'humidité mesurés ont montré une variabilité selon l'endroit du prélèvement du sol. En effet, Les échantillons de sol collectés du sommet et du flanc Est de la dune présente des valeurs proches (4,0 et 4,32 % respectivement) alors que le sol collecté du flanc Ouest de la dune présente un taux d'humidité plus élevé (6,95 %). Ces résultats pourraient être expliqués par la structure de la dune elle-même. En effet, le sommet et le flanc Est se trouvent en permanence sous l'effet du soleil pendant le jour, ceci pourrait expliquer le taux faible d'humidité observé. De l'autre côté, le flanc Ouest se trouve à l'abri de l'effet du soleil, ce qui diminue l'action d'évaporation et par conséquent le taux d'humidité relativement élevé selon les résultats obtenus. Il est important d'indiquer que la température qui régnait sur le site de prélèvement, le jour de la collecte des échantillons, était dans les limites de 31 °C à 11 h du matin.

1.2. Teneur en matière organique

Cette expérience a bien montré que le sol étudié est très pauvre en matière organique. La teneur de cette dernière ne dépasse pas 1,74 % sur le sommet et le flanc Est de la dune alors qu'elle présente une valeur légèrement plus importante sur le flanc Ouest (2,85 %). Ces résultats n'étaient pas surprenants. En effet, les sols désertiques, notamment les sables de dunes, sont connus de leur faible teneur en matière organique (Aubert, 1960). Ceci est dû principalement à la fluctuation de certains facteurs physiques qui influencent significativement la distribution de la matière organique et par conséquent, la distribution microbienne dans ce type de sol (Ruyin Liu *et al.*, 2014). Parmi les facteurs les plus impliqués

dans ce phénomène, on peut citer le piétinement exercé par le passage des animaux mais surtout l'effet du vent.

Ce facteur très important, exerce une très forte érosion au niveau des sommets des dunes diminuant ainsi dramatiquement les teneurs en matière organique. Les racines de la dune, qui se trouvent à l'abri de la force du vent, reçoivent ainsi toute la charge de la matière organique qu'elle soit déposée par le vent même ou ramenée par les animaux (Kroy *et al.*, 2002).

Tableau 1- Caractéristiques physico-chimiques du sol de dune étudié.

Site	%d'humidité/MF	%matière organique/MS	pH	Conductivité électrique (ms/m)	Total des sels dissous
Sommet de la dune (3)	4,00	1,74	8,32	3,41	1,74
Flanc Est (3')	4,32	1,74	8,32	4,53	2,27
Flanc Ouest (3'')	6,95	2,85	8,20	4,92	2,46

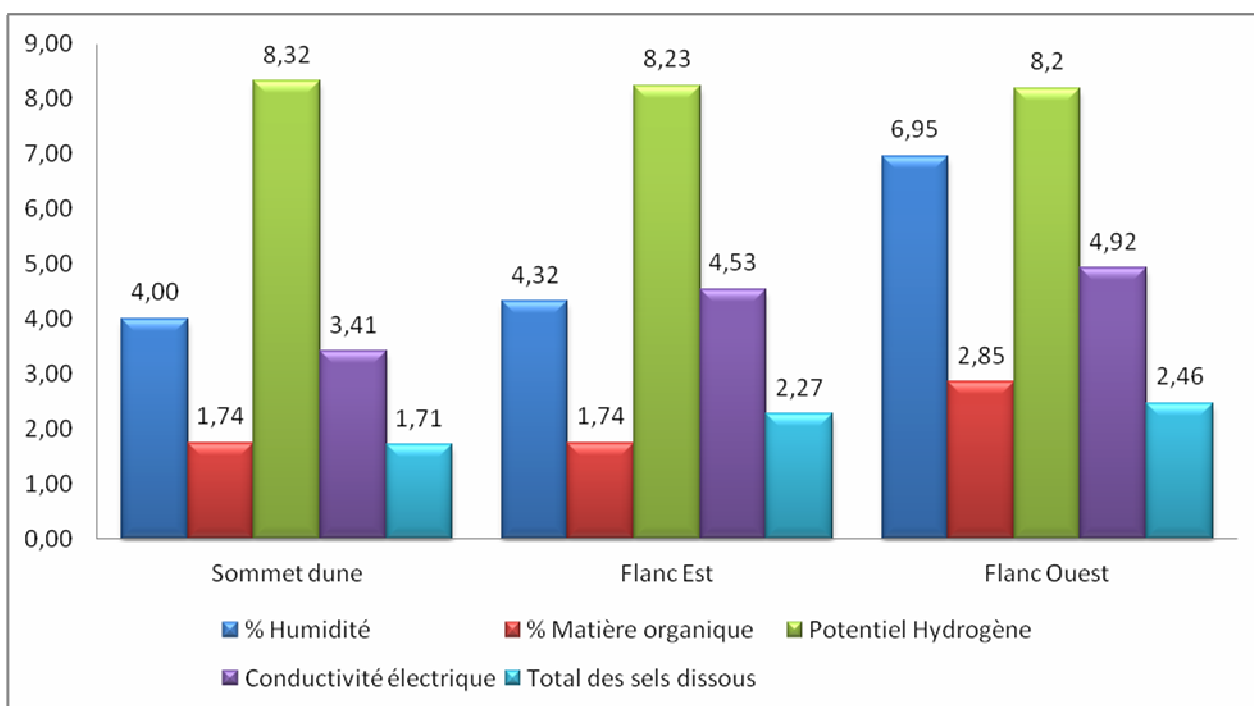


Figure 5- Graphique représentant les caractéristiques physico-chimiques des échantillons selon la partie de la dune.

1.3. pH

Les mesures du pH montrent que le sol étudié est légèrement alcalin sur les différentes parties de la dune (sommet, flanc Est et flanc Ouest). Sachant que le pH est un facteur important, influençant la distribution de la microflore, il est probable que les bactéries qui pourraient être isolées à partir de ce sol seraient plutôt neutrophile à basophiles. Les *Actinomycètes* seraient alors le groupe le plus favorisé (Hubert and Lechevalier, 2015 ; Calvet, 2013).

1.4. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique indiquées dans le tableau 1 nous ont permis de classer le sol étudié en sol très salé. La teneur élevée en sel pourrait être due principalement à la forte évaporation, ce qui est bien reflété par les faibles taux d'humidité obtenus (Tableau 1). Ceci pourrait être dû à la température très élevée caractéristique de la région. Ce caractère pourrait être aussi un très bon indicateur vis-à-vis de la nature des bactéries susceptibles d'être isolées à partir de ce sol. Des bactéries résistantes à de forte teneur en sel pourraient fortement être observées. Des formes sporulées sont très attendues.

2. Etude microbiologique des échantillons du sol dunaire

L'objectif de cette partie du travail était d'avoir un aperçu sur la flore bactérienne existant dans le sol dunaire collecté et d'établir une comparaison entre les différents flancs de la dune du point de vue microbiologique, plus précisément, bactérien.

2.1. Isolement sur milieu LB

Pour entamer la recherche, nous avons d'abord réalisé des enrichissements sur milieu LB en aérobiose (voir les conditions dans Matériel et Méthodes) pour chaque échantillon de sol (1,3 et 5) en prenant en compte les trois parties de la dune (sommet, flanc Est et Flanc Ouest) . Le temps de l'enrichissement a été limité à 6 h de temps afin d'empêcher la dominance des groupes bactériens majoritaires et de pouvoir ainsi observer le maximum des souches cultivables.

À partir des enrichissements, des dilutions décimales ont été réalisées sur le même milieu LB (photo 2). Les cultures obtenues ont été transférées sur le milieu solide correspondant, en boîtes de Pétri (voir les détails dans Matériel et Méthodes).

Nous avons été surpris d'obtenir des boîtes débordées jusqu'à la dilution 10^{-4} . À partir de cette dilution, des colonies plus ou moins séparées et d'aspect macroscopique distinct ont été observées. Ce constat était fait pour les trois parties de la dune (sommet, flanc Est et flanc Ouest).

Ces résultats indiquent que le sol étudié est peuplé d'une flore bactérienne assez consistante. Les aspects macroscopiques différents des colonies laissent penser que différentes espèces bactériennes pourraient être identifiées. Ces résultats sont de très haute importance car Ils confirment l'existence d'espèces bactériennes à l'état de la vie active dans le sol du désert malgré toutes les conditions difficiles qui le caractérisent (voir l'étude physicochimique). Ces espèces doivent alors être d'une résistance et d'une spécificité remarquable pour pouvoir survivre dans de telles conditions (Ruyin Liu *et al.*, 2014).



Figure 6- Aspect macroscopique des colonies de l'échantillon 1 (sommet de la dune, dilution 10^{-6}).

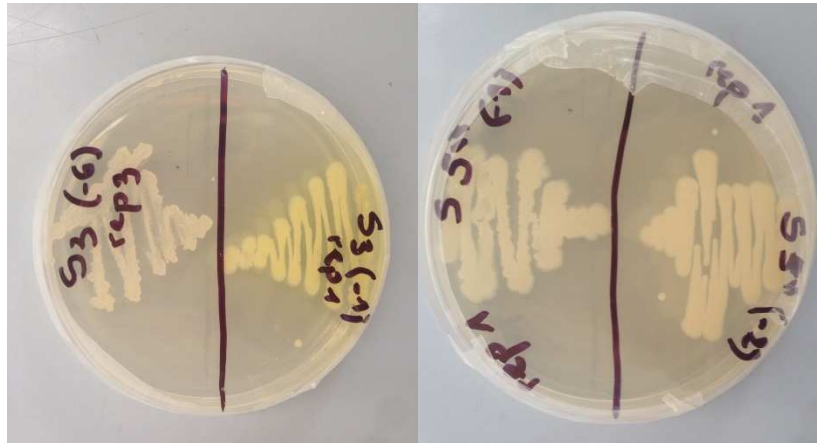


Figure 7- Exemple de colonies macroscopiquement distinctes isolées des échantillons 3 (sommet de la dune) et 5'' (flanc Ouest de la dune).

2.2. Isolement sur milieu LBS

Comme nous avons prouvé à travers les tests physicochimiques, le sol de dune étudié présente une forte teneur en sel. Ainsi, afin de sélectionner les souches capables de supporter une teneur importante en sel nous avons doublé la concentration du NaCl dans le milieu LB. Le milieu obtenu a été nommé LBS.

Tout comme pour le milieu LB, des enrichissements ont été réalisés pour tous les échantillons (1, 3 et 5) et de chaque partie de la dune (sommet, flanc Est et flanc Ouest). Des dilutions décimales ont été ensuite réalisées puisensemencées sur boîtes de Pétri (voir Matériel et Méthodes).

Comme pour le milieu LB, le développement bactérien était assez important. Cependant, Les colonies bactériennes présentent un aspect semblable dans la majorité des boîtes. Il est important d'indiquer que les aspects macroscopiques des colonies isolées sur LBS n'ont pas été observés sur les isolements déjà réalisés sur milieu LB.

Ces résultats nous permettent alors d'établir qu'il existait un rapport net entre l'activité bactérienne et la teneur en sels et qu'il existerait donc une population halophile apte à s'adapter aux fortes concentrations de sel.

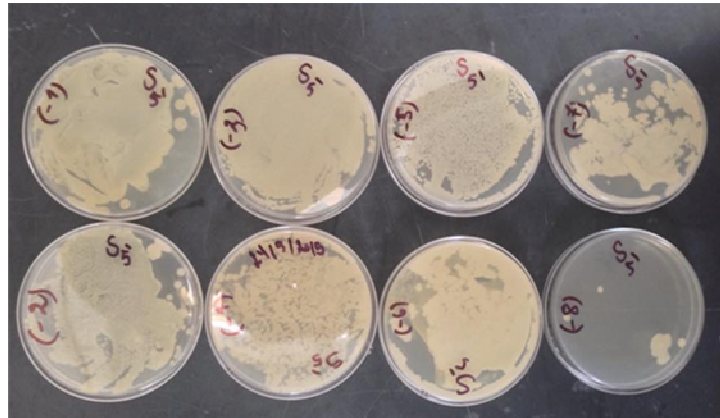


Figure 8- Aspect des colonies bactériennes obtenues sur milieu LBS de l'échantillon 3' (flanc Est, dilutions de 10^{-1} à 10^{-8}).

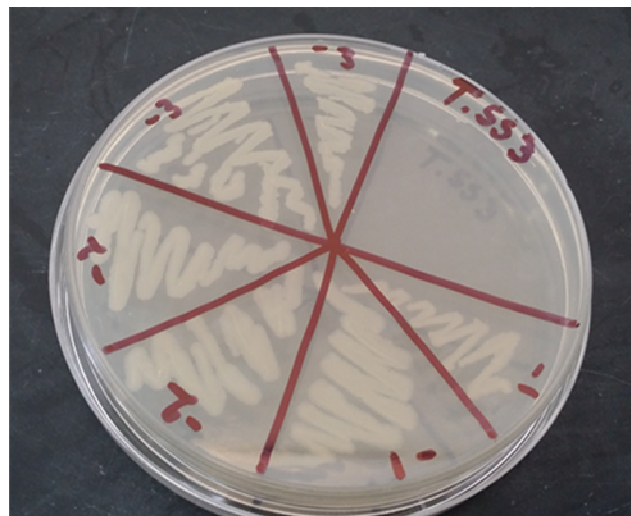
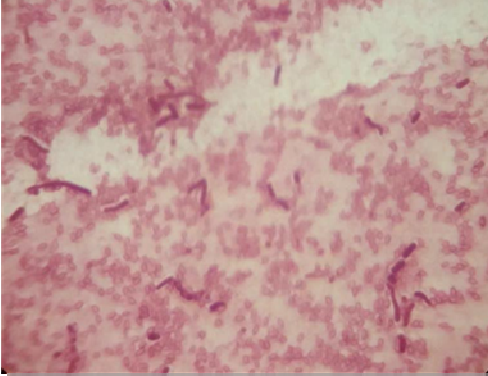

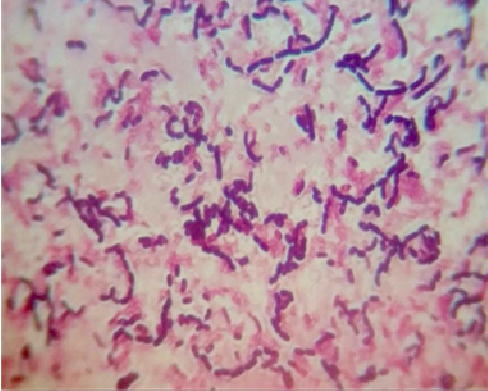
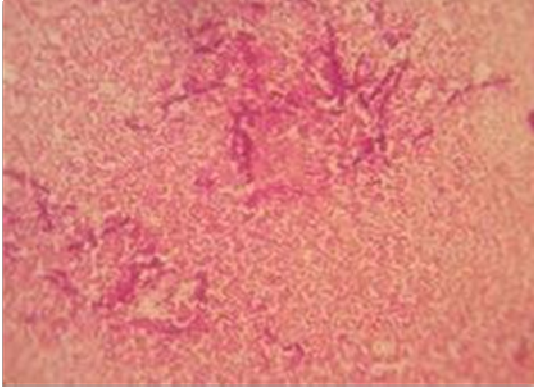


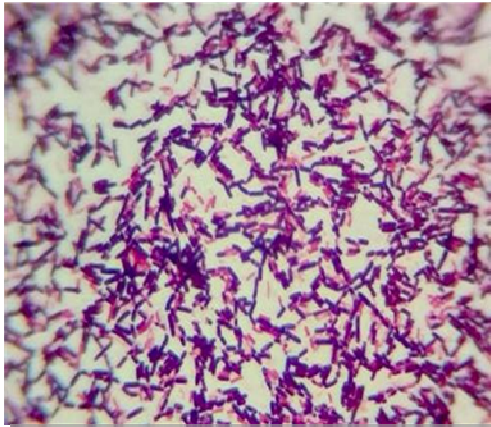
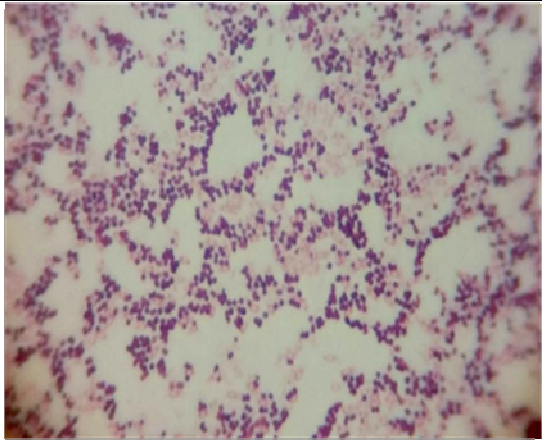
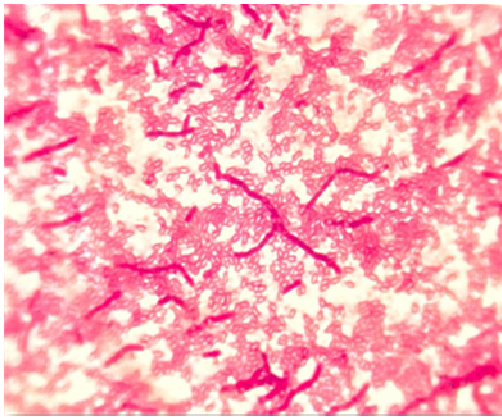
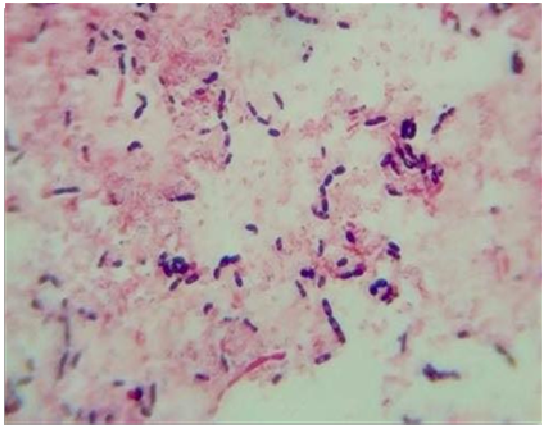
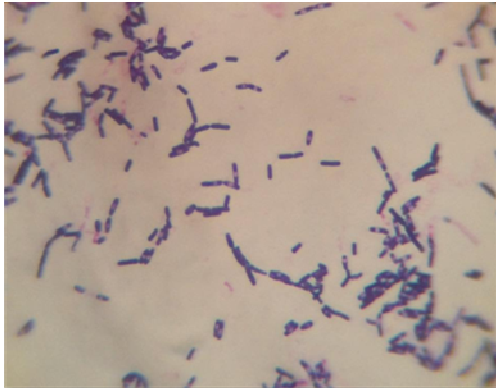
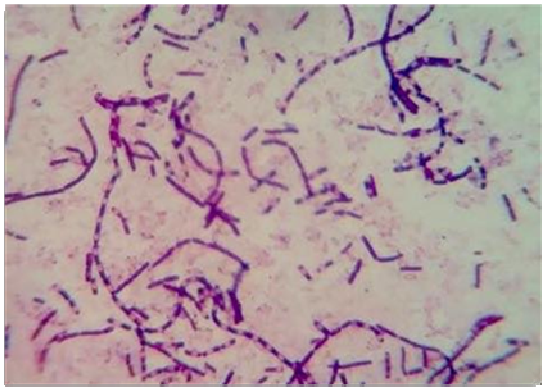
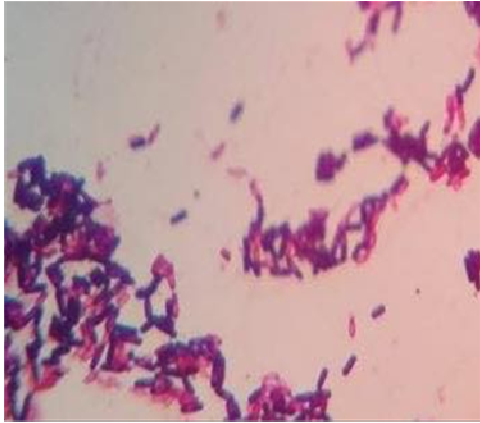
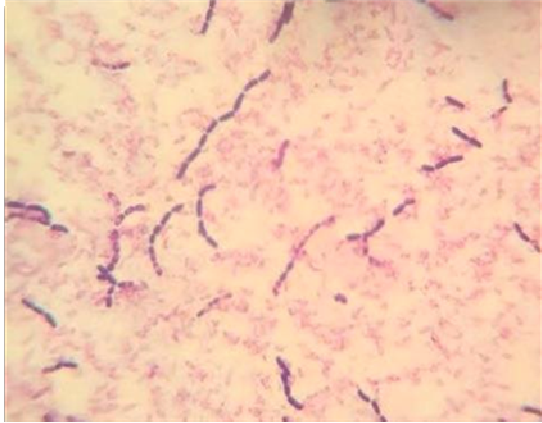
Figure 9- Les colonies bactériennes d'aspect macroscopique distinct isolées à partir de l'échantillon 3 (flanc Est, dilutions de 10^{-1} à 10^{-3}).

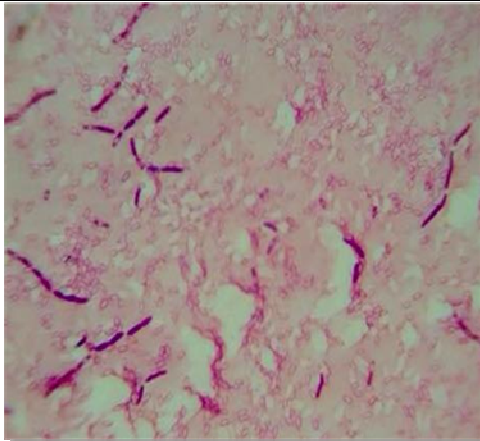
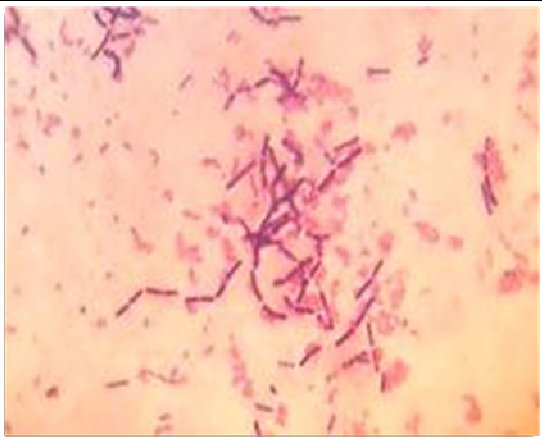
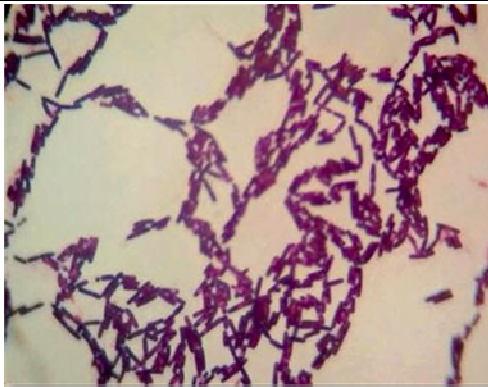

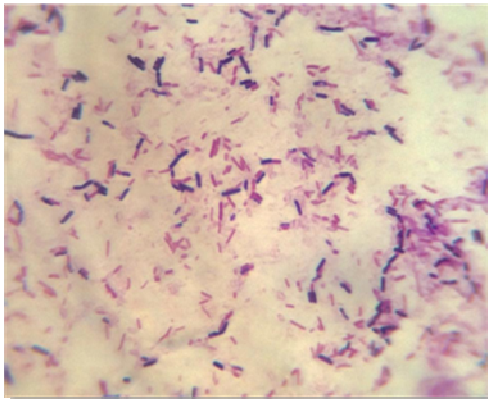
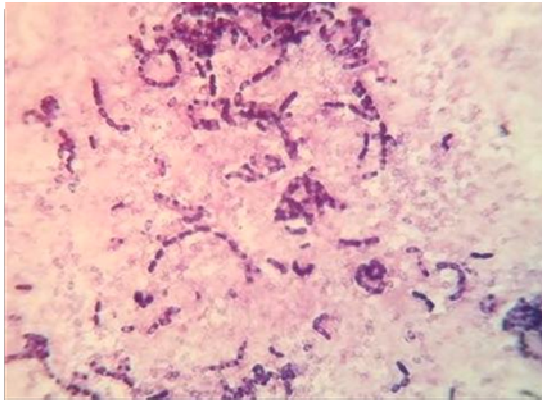
2.3. Coloration de Gram des colonies obtenues

Afin de plus approfondir notre étude et confirmer nos résultats, une coloration de Gram accompagnée d'une observation microscopique minutieuse de la forme des cellules bactériennes ont été réalisées. Ceci nous permettra de formuler des conclusions relatives à leur morphologie, leur mode de regroupement ainsi que leur état d'activité.

Tableau 2- Résultats de la coloration de Gram sur milieu LB et milieu LBS.

Echantillon	Partie de la dune	LB	LBS
Echantillon 1	Sommet		
	Flanc Est		

	Flanc Ouest		
Echantillon 3	Sommet		
	Flanc Est		
	Flanc Ouest		

Echantillon 5	Sommet		
	Flanc Est		
	Flanc Ouest		

Les communautés bactériennes de nos échantillons sur milieu LB sont morphologiquement assez similaires mais présentent une distribution spéciale. Les filaments fins et ramifiés à Gram positif sont caractéristiques aux actinomycètes.

La comparaison inter-sites montre que les formes bactériennes observées sur les trois échantillons (1, 3 et 5) du sommet de la dune sont similaires. On distingue des bacilles Gram positif isolés, des cocci Gram négatif regroupés en amas ainsi que des actinomycètes.

Pour les échantillons du flanc Est de la dune, on observe sur les échantillons 3' et 5' des bacilles Gram positif uniquement alors que sur l'échantillon 1' en plus des bacilles Gram positif on observe la présence de cocci Gram négatif regroupés en chainettes et d'actinomycètes.

Pour ce qui est des échantillons du flanc Ouest de la dune (1'', 3'' et 5'), les formes qu'on a observé sont les bacilles Gram positif regroupés en amas et des bacilles Gram négatif isolés.

La comparaison intra site des échantillons montre que les formes distinguées sur le sommet, le flanc Est et le flanc Ouest sont très différentes, ce qui est probablement dû aux facteurs physico-chimiques du sable étudiés précédemment.

Une des particularités de nos échantillons est la présence d'une très grande proportion de Bacilles.

Il ressort aussi de nos observations qu'il y a une prédominance des formes gram positif.

Tous ces faits prouvent que les sols désertiques du Sahara sont peuplés d'une flore microbienne particulièrement riche en bactéries parmi lesquelles les actinomycètes, très résistants, et les bactéries sporogènes prédominent.

Les résultats de l'observation microscopique des colonies bactérienne du milieu LBS sont différents de celles du milieu LB.

Dans le milieu LBS il y a une prédominance des cocci Gram négatif. On a aussi remarqué qu'il y avait une prédominance d'actinomycètes, ce qui prouve qu'ils sont bien moins sensibles à la sècheresse que les bactéries grâce à leur pouvoir de créer facilement des spores. Les groupes bactériens aillant pu croitre dans ce milieu ont la capacité de tolérer une concentration saline élevée, ils présentent donc probablement une halotolérance.

On observe qu'il y a une absence de bacilles Gram négatif dans tous les échantillons, on déduit que dans les mêmes conditions le sel est inhibiteur de certains groupes bactériens qui n'ont pas la capacité de tolérer des concentrations élevées en sel.

On déduit que l'effet de l'NaCl est hétérogène, bien que sa présence favoriserait la croissance de certaines souches tel que les actinomycètes, il peut de même être inhibiteur pour d'autres souches ne tolérant pas des concentrations élevées en sel.

Conclusion

Le désert du Sahara a initialement été choisi avec l'idée que la diversité microbienne y serait faible voire inexistante dans des conditions aussi extrêmes faisant des dunes de sable sahariennes un environnement aride de choix pour l'étude.

Cette idée a été en grande partie infirmée suite à nos analyses microbiologiques qui montrent que tous les sites de prélèvement étudiés au niveau de la dune sont peuplés par une microflore diversifiée.

Les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques du sable au niveau du sommet, du flanc Est et du flanc Ouest de la dune montrent que ces sols se caractérisent par :

- Une température élevée (31°C au début du mois de Mai)
- Un taux d'humidité faible variant de 4% sur le sommet la dune, 4,32% sur le flanc Est de la dune et 6,95% sur le flanc Ouest de la dune
- Une teneur en sels très élevée
- Un pH légèrement alcalin
- Une faible teneur en matière organique de l'ordre de 1,74% sur le sommet et le flanc Est de la dune et légèrement plus importante sur le flanc Ouest de la dune avec une valeur de 2,85%.

L'isolement sur milieu LB a indiqué que le sol étudié est peuplé d'une flore bactérienne assez consistante. Les différents aspects macroscopiques des colonies prouvent l'existence de différentes espèces bactériennes dans le sol du désert malgré les conditions défavorables du milieu.

Sur le milieu LBS, la croissance bactérienne était tout aussi importante. Cependant, les colonies bactériennes présentent un aspect semblable dans la majorité des boîtes. Il existe donc un rapport net entre l'activité bactérienne et la teneur en sels et l'éventuelle présence d'une population halophile apte à s'adapter aux fortes concentrations de sel.

Les résultats de l'analyse microscopique ont révélé que sur le milieu LB, les bacilles étaient largement dominants ainsi qu'une prédominance des Gram positif. Alors que sur milieu LBS les cocci Gram négatif étaient plus présents suivis par les actinomycètes.

La présence d'une telle diversité dans un écosystème aussi pauvre et aride implique la capacité de ces organismes vivants à utiliser divers mécanismes de résistance afin de s'adapter aux conditions extrêmes qui les entourent.

Références bibliographiques

- Aubert, G. (1960)**, Les sols de la zone aride. Colloque Général sur les problèmes de la zone aride. Paris.
- Backman A., Maraha N. and Jansson J. K. (2004)**, Impact of Temperature on the Physiological Status of a Potential Bioremediation Inoculant, *Arthrobacter Chlorophenolicus* A6. *Applied and Environmental Microbiology* 70, no. 5: 2952–58.
- Brown, G. W. (2013)**, *Desert Biology: Special Topics on the Physical and Biological Aspects of Arid Regions*. Elsevier.
- Bakermans, C, Alexandre I, Tsapin V, Souza-E, David A. G. and Kenneth H. N. (2003)**, Reproduction and Metabolism at 10°C of Bacteria Isolated from Siberian Permafrost. *Environmental Microbiology* 5, no. 4:321–26.
- Billi, D. and Potts, M. (2002)**, Life and death of dried prokaryotes. *Microbiologie.*;153(1):7-12.
- Boullard, B. and Moreau, J. (1962)**, *Sol, microflore et végétation*. Edition Masson Paris ; pp. 289.
- Brown, G. W. (2013)**, *Desert Biology: Special Topics on the Physical and Biological Aspects of Arid Regions*. Elsevier.
- Cable, J. M. and Huxman, T. (2004)**, Precipitation Pulse Size Effects on Sonoran Desert Soil Microbial Crusts. *Oecologia* 141, no. 2: 317–24.
- Calvet, R. (2003)**, *Le sol: propriétés et fonctions*. Volume 1. France Agricole Editions.
- Calvet, R. (2013)**, *Le sol*. Ed. France Agricole.
- Cases, I. and De Lorenzo, V. (2002)**, The Grammar of (micro) biological Diversity.” *Environmental Microbiology* 4, no.11: 623–27.
- Ciaramella, M., Pisani, F. M. and Mosé, R. (2002)**, Molecular Biology of Extremophiles: Recent Progress on the Hyperthermophilic Archaeon *Sulfolobus*. *Antonie Van Leeuwenhoek* 81, no. 1–4 : 85–97.
- Curtis, T. P., William T.S., and Jack, W.S. (2002)**, Estimating Prokaryotic Diversity and Its Limits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, no. 16: 10494–99. *Environmental Microbiology* 68, no. 1 : 326–34.

- Csonka, L.N. (1989)**, Physiological and genetic responses of bacteria to osmotic stress. *Microbiol. Rev* 53; pp. 121-147.
- Davet, P. (1996)**, Vie microbienne du sol et production végétale. Editions Quae.
- Garcia-Pichel, F. and Pringault, O. (2001)**, Microbiology Cyanobacteria track water in desert soils. *Nature, Rev* 413(6854) : 380-381.
- Hauke-Pacewiczowa, T., Balandrea, J. and Dommergues. (1969)**, Fixation microbienne de l'azote dans un sol salin Tunisien. *Soil Biol. Biochem. Vol. 2*, pp. 47-53. Pergamon Press.
- Hermann, H.J. and Rognon, P. (2000)**, La physique des dunes.
- Kassass, M. (1953)**, La végétation et la régénération du sol dans les oueds désertiques. Rapport UNESCO.
- Killian, C and Ferrer, D. (1943)**, Recherches sur la microbiologie des sols désertiques: résultats des Missions sahariennes. Paul Lechevalier.
- Kempf, B. and Bremer, E. (1998)**, Uptake and Synthesis of Compatible Solutes as Microbial Stress Responses to High Osmolality Environments. *Archives of Microbiology* 170, no. : 319–30.
- Le Rudulier, D., Mandon, K., Dupont, L., and Trinchchant, J.C. (2002)**, Salinity effects on physiology of soil microorganisms. *Encyclopedia of environmental microbiology*. Edition Bitton, Canada. pp. 2774-2789.
- Lighthart B. and Shaffer B. (1994)**, Bacterial flux from chaparral into the atmosphere in midsummer at a high desert location. *Atmospheric Environment*, 28(7) :1267–1274.
- Margesin, R. and Nogi, Y. (2004)**, Psychropiezophilic Microorganisms. *Cellular and Molecular Biology* , 50, no. 4 : 429–36.
- Maier, R. M., Pepper, I. L., Gerba, C. P. (2009)**, Environmental microbiology. Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
- Morel, Robert. (1996)**, Les sols cultivés. Tec & Doc-Lavoisier.
- Oren, A. (1999)**, Bioenergetic Aspects of Halophilism. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 63, no. 2 : 334–48.
- Pocard, J. A., Smith, L. T., Smith, G. M. and Le Rudulier, D. (1994)**. A Prominent Role for Glucosylglycerol in the Adaptation of *Pseudomonas Mendocina* SKB70 to Osmotic Stress. *Journal of Bacteriology* 176, no. 22 : 6877–84.
- Rognon, Pierre. (1994)**, Biographie d'un désert: le Sahara. L'Harmattan.
- Ruyinliu Liu, Ke Li, Hongxun Zhang, Junge Zhu and DevRaj Joshi. (2014)**, Spatial Distribution of Microbial Communities Associated with Dune Landform in the Gurbantunggut Desert, China. *Journal of Microbiology* 52, no. 11 898–907.

Sasson, A. (1967), Recherches écophysiologicals sur la flore bactérienne de sols de régions arides du Maroc. Série botanique et biologie végétale. Travaux de l'institut scientifique chérifien et de la faculté des sciences, Rabat, N° 30 :27-55.

Van der Wielen, P. W. J. J., Bolhuis, H., Borin, S., Daffonchio D., Corselli, C., Giuliano, L., D'Auri, G. (2005), The Enigma of Prokaryotic Life in Deep Hypersaline Anoxic Basins." *Science (New York, N.Y.)* 307, no. 5706 : 121–23.

Zahran, H.H. (1997), Diversity, Adaptation and Activity of the Bacterial Flora in Saline Environments. *Biology and Fertility of Soils* 25, no. 3 : 211–23.

Zhou, Jizhong, Beicheng Xia, David S. Treves, L.-Y. Wu, Terry L. Marsh, Robert V. O'Neill, Anthony V. Palumbo, and James M. Tiedje (2002), Spatial and Resource Factors Influencing High Microbial Diversity in Soil. *Applied and Environmental Microbiology* 68, no. 1 : 326–34.

Zhu, J. K. (2007), Plant salt stress, John Wiley and Sons, Ltd.

Sites électroniques

De Luca, G., Barakat M., Heulin, T. (2011), « La Bactérie Du Désert Se Cale Sur Le Cycle de L'eau ». 2011. *Futura-Sciences*.
<http://www.futura-sciences.com/magazines/sante/infos/actu/d/biologie-bacterie-desert-cale-cycle-eau-33264/>.
Accessed June 19, 2015.

Heulin T. (2010),
“Parlons Biodiversité: Les Bactéries et Environnements Extrêmes, de La Vie Dans Le Désert? Échoplanète - Environnement, Économie et Solidarité En Provence.”
<http://www.echoplanete.com/actu/biodiversite-actu/parlons-biodiversite-les-bacteries-et-environnements-extremes-de-la-vie-dans-le-deser>.
Accessed June 18, 2015.

Hillel D. (2005),
Salinity; Management.”
<http://pubs.giss.nasa.gov/abs/hi01100t.html>.
Accessed June 20, 2015.

Hubert A. Lechevalier. Actinomycètes, 2015,
Encyclopædia Universalis [en ligne],
<http://www.universalis.fr/encyclopedie/actinomycetes/>
Consulté le 21 juin 2015.

Tanji, K. K. (2002),
“Salinity in the Soil Environment” In *Salinity: Environment - Plants - Molecules*, edited by André Läuchli and Ulrich Lüttge, 21–51. Springer Netherlands, 2002.
http://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-48155-3_2.
Accessed June 14, 2015.

Fixation Microbienne de L'azote Dans Un Sol Salin Tunisien - fdi:13935 - Horizon.
<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:13935>.
Accessed June 20, 2015.

La Dune : « Formation et Mouvements. »
<http://www.futura-sciences.com/magazines/terre/infos/dossiers/d/geologie-paysages-roches-epiderme-notre-planete-972/page/8/>.
Accessed June 20, 2015.

Résumé

Nous nous sommes intéressées dans ce travail à l'étude de la distribution spatiale, de la diversité et de l'isolement des souches bactériennes résistantes aux conditions extrêmes d'un sol sableux des dunes du Sahara algérien.

Les sites étudiés sur le sommet, le flanc Est et le flanc Ouest de la dune sont caractérisés par un faible taux d'humidité, une salinité relativement élevée, un pH légèrement alcalin et un taux de matière organique variant entre 1,74% sur le sommet et le flanc Est de la dune et de 2,85% sur le flanc Ouest de la dune.

Nos analyses microbiologiques montrent la présence d'une microflore diversifiée et adaptée aux conditions du milieu saharien. Cette diversité change considérablement d'un site de la dune à un autre dépendant de plusieurs facteurs (caractéristiques physico-chimiques du sol, couvert végétal, activité biologique animale...).

Les analyses microscopiques montrent que les formes bactériennes les plus dominantes sont les bacilles, suivies par les actinomycètes.

Malgré leurs conditions défavorables, les sols désertiques sahariens sont peuplés de microorganismes à l'état sporulé.

Mots-clés: Sol Saharien, microorganismes, adaptation aux conditions extrêmes, microbiologie des sols désertiques.

Abstract

We were interested in the study of the spatial distribution, diversity and isolation of bacterial strains that are resistant to extreme conditions of sandy soil in the Algerian Sahara dunes.

The sites studied on the summit, the eastern flank and the western flank of the dune are characterized by low humidity, relatively high salinity, a slightly alkaline pH and organic matter rate ranging from 1.74% on the summit and the eastern flank of the dune as well as 2.85% on the western flank of the dune.

Our microbiological analyzes show the presence of a diverse microflora adapted to the conditions of the Saharan environment. This diversity varies greatly from one dune site to another depending on several factors (physico-chemical characteristics of the soil, vegetation, animal biological activity...).

In addition, the microscopic analysis shows that the most dominant bacterial forms are bacilli followed by actinomycetes. The Saharan desert soils are populated by microorganisms in the sporulated state despite the unfavorable conditions.

Keywords: Saharan soil, microorganisms, adaptation to extreme conditions, microbiology desert soils.

ANNEXE 1



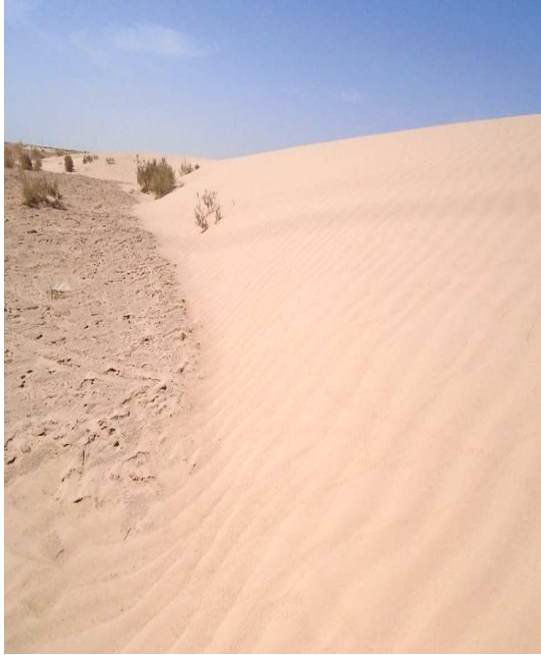
Méthode de prélèvement :

Les échantillons de sable, environ 250 g à 300 g, sont prélevés dans les conditions de stérilité à la main, en surface entre 0 et 10 cm.

Les échantillons prélevés sont transportés dans des sachets stériles en plastique, fermés hermétiquement pour analyse au niveau du laboratoire.



Les échantillons récoltés des neufs sites.



Aspect du flanc Est de la dune



Aspect du flanc Ouest de la dune



Aspect du sommet de la dune

Bouafia Boudeffa

Lydia Abir

Thème : Description préliminaire de la flore bactérienne d'un biotope dunaire du Sud Algérien

Résumé

Nous nous sommes intéressées dans ce travail à l'étude de la distribution spatiale, de la diversité et de l'isolement des souches bactériennes résistantes aux conditions extrêmes d'un sol sableux des dunes du Sahara algérien.

Les sites étudiés sur le sommet, le flanc Est et le flanc Ouest de la dune sont caractérisés par un faible taux d'humidité, une salinité relativement élevée, un pH légèrement alcalin et un taux de matière organique variant entre 1,74% sur le sommet et le flanc Est de la dune et de 2,85% sur le flanc Ouest de la dune.

Nos analyses microbiologiques montrent la présence d'une microflore diversifiée et adaptée aux conditions du milieu saharien. Cette diversité change considérablement d'un site de la dune à un autre dépendant de plusieurs facteurs (caractéristiques physico-chimiques du sol, couvert végétal, activité biologique animale...).

Les analyses microscopiques montrent que les formes bactériennes les plus dominantes sont les bacilles, suivies par les actinomycètes.

Malgré leurs conditions défavorables, les sols désertiques sahariens sont peuplés de microorganismes à l'état sporulé.

Mots clés : Sol Saharien, microorganismes, adaptation aux conditions extrêmes, microbiologie des sols désertiques.

Laboratoire de recherche : Laboratoire de biotechnologies.