



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR- KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE : Biologie

OPTION : Microbiologie et Biologie moléculaire

Thème

***Caractérisation morphologique et
physiologique d'actinomycètes provenant
de sols désertiques du sud Algérien***

Présenté par :

DJEMAA FATMA

TAMRABET NACIRA

Encadreur:

BENSUICI. K

Soutenu le : 16/06/2015

Membres du jury

Président : DELLA Y.

Maître assistant A Université Abbes Laghrou

Encadreur : BENSOUICI K.

Maître assistant A Université Abbes Laghrou

Examineur : BOUTARFA S.

Maître assistant B Université Abbes Laghrou

Promotion : 2014/2015

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes parents que je remercierai éternellement pour leur amour et leur appui inconditionnel durant toutes ces années;

À mon frère Mourad, son épouse Assia et à mon poupon Abd Arrahim, Amina et Bouthaina.

À mon frère Azzedine, son épouse Nassira et à Rokja et Tasnime

À mon cher frère Djamel que Dieu le garde.

À mes sœurs, Farida, Hassina, et Naziha, son époux Walid et à Zaineb et Zakaria

À toute ma famille.

À mon binôme Nacira, ainsi qu'à sa famille.

A mes chères amies : Rafika, Amel, Âlima, Iman, Aicha, Besma, Mouna, Souhila, Widad, Hadia, Ahlem.

A tous ceux et toutes celles qui m'ont encouragé et m'ont souhaité du bien de près ou de loin. Et témoignage de ma profonde affection.

Sans oublier mes camarades de la promotion 2^{ème} année Master Microbiologie (2014/2015).

Fatma

Remerciements

*Avant tout, nous remercions **Allah** qui nous a donné patience, force et volonté, et nous a aidé à réaliser ce modeste travail.*

Nous tenons particulièrement à remercier notre encadreur,

Mme. Bensouici K.

Maître assistant A à l'université Abbes Laghrour Khenchela, pour sa gentillesse, sa confiance, ses encouragements et ses conseils durant la période de réalisation de ce mémoire.

*Nous remercions aussi **Mme. Dellaa Y.** Maître assistant A à l'université Abbes Laghrour Khenchela et **Mlle. Boutarfa S.** Maître assistant B à l'université Abbes Laghrour Khenchela, pour leur collaboration, et d'avoir accepté de juger notre travail.*

Nous adressons également, nos remerciements à l'équipe du laboratoire de recherches scientifiques de l'université de Khenchela pour leurs orientations.

Liste des figures

Figure 1 : Principaux groupes d'actinomycètes.....11

Figure 2 : Cycle de développement de *Streptomyces griseus* (Horinouchi, 2002).....13

Figure 3 : Croissance d'une colonie d'actinomycètes sur milieu solide.....14

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différentes valeurs de GC % rencontrées dans le groupe des Actinomycètes (d'après Williams <i>et al.</i>, 1989).....	9
Tableau 2 : Caractéristiques principales de genres d'actinomycètes fréquents dans les sols. (Stanier, 1966).....	10
Tableau 3 : Exemples d'enzymes employées dans différents secteurs industriels (Kirk <i>et al.</i>, 2005).....	20
Tableau 4 : Test de croissance des souches actinomycètes sur le bouillon nutritif et à différentes concentrations de NaCl.....	27
Tableau 5 : Types de microorganismes halophiles (Tang <i>et al.</i> 2003).....	28
Tableau 6 : Croissance des 12 isolats d'actinomycètes à différentes valeurs de températures.....	29
Tableau 7 : Test de croissance des souches actinomycètes à différents de PH après 7 jours.....	30

Liste des photographies

- Photographie 1 :** Aspect des colonies d'un isolat d'actinomycète après revivification.....**26**
- Photographie 2:** Photographies des mycéliums de souche SEL 4 au grossissement (x4), (a) mycélium aérien, (b) mycélium substrat.....**31**
- Photographie 3:** Photographies des mycéliums de souche S7 au grossissement (x4), (c) mycélium aérien, (d) mycélium du substrat.....**31**
- Photographie 4:** Photographies des mycéliums de souche SEL5 au grossissement (x4), (e) mycélium aérien, (f) mycélium du substrat.....**32**
- Photographie 5:** Photographies des mycéliums de souche S4 au grossissement (x4), (g) mycélium aérien, (h) mycélium du substrat.....**32**
- Photographie 6:** Photographies des mycéliums de souche SS au grossissement (x4), (i) mycélium aérien, (j) mycélium du substrat.....**33**
- Photographie 7:** Photographies des mycéliums de souche SP2 au grossissement (x4), (k) mycélium aérien, (l) mycélium du substrat.....**33**
- Photographie 8:** Photographies des mycéliums de souche S15 au grossissement (x4), (m) mycélium aérien, (n) mycélium du substrat.....**33**
- Photographie 9:** Photographies des mycéliums de souche S5 au grossissement (x4), (o) mycélium aérien, (p) mycélium du substrat.....**34**

Liste des abréviations

ADN : acide désoxyribonucléique

ARN : acide ribonucléique.

ARNr 16S: ARN ribosomique 16 s.

Aw: Activité de l'eau

B.N.: bouillon nutritive.

CL⁻: chlorure.

CO: monoxyde de carbone.

CO₂: dioxyde de carbone.

Cu: Cuivre.

Fe: fer

GC: Guanine et Cytosine

G.N. : gélose nutritif.

H₂O: eau.

H : heure.

ISP : International *Streptomyces* Project.

K⁺: potassium.

KCl: chlorure de potassium.

Mg: magnésium.

ml: millilitre.

Mn: Magnésium

N: azote.

NaCl: chlorure de sodium.

NH₃: ammoniac.

P: Phosphre.

PH: Potentiel Hydrogène.

P/V: Poids/Volume.

S: Soufre.

X, UV: les rayant X et ultras violet.

Zn: Zinc.

µm: Unité micromètre.

% : pourcentage.

°C : degrés Celsius.

Les actinomycètes sont des bactéries mycéliennes à Gram positif, ils présentent malgré la lenteur de leur croissance, une aptitude formidable à produire de nombreuses substances enzymatiques et antibiotiques. (**Goodfellow et Williams, 1983**). Ils subissent des différenciations morphologiques durant leur cycle de vie. En réponse à des conditions défavorables, tel qu'un déficit en nutriments et en eau. Les actinomycètes se sporulent et ce n'est que lorsque les conditions redeviennent favorables, que les spores peuvent germer et former de nouveau le mycélium végétatif. Cette propriété joue un rôle important dans leur large distribution dans la nature (**Goodfellow et Williams, 1983**).

Les actinomycètes sont rencontrés dans tous les écosystèmes : sols polaires, sols désertiques, sols contaminés, sols cultivés, sols forestiers, débris végétaux ainsi que dans les eaux. Les actinomycètes représentent une source biologique utile d'antimicrobiens contre des mycètes et des bactéries pathogènes et même contre les virus. Ils sont surtout réputés pour leur grande capacité à produire naturellement des antibiotiques. Environ 70 % des molécules actives d'origine microbienne proviennent des actinomycètes. La streptomycine, la néomycine, le chloramphénicol, les tétracyclines, les fattiviracines etc. sont des exemples des antibiotiques produits par ces bactéries (**Okami et Hotta, 1988**). Divers espèces d'actinomycètes présentent des capacités de biodégradation des molécules organiques aussi variées que récalcitrantes (non biodégradables) (**Mc Carthy et al. 1992**). Cette fonction de biodégradation des actinomycètes est due à la variété d'enzymes qu'elles peuvent synthétiser. En effet, les enzymes sont après les antibiotiques les plus importants produits des actinomycètes (**Lopes et al. 1999**). Elles sont utilisées dans la dégradation des biomasses végétales et animales, dans l'industrie alimentaire et en biologie moléculaire (**William et al. 1993**). D'autres recherches ont montré que certaines espèces d'actinomycètes qui habitent le sol dégradent des composés organiques de synthèse qui sont en principe non biodégradable, tel que le phénanthrène et l'anthracène (**Moody et al. 2001**). Les actinomycètes sont également capables de métaboliser plusieurs composés y compris les sucres (Polysaccharides), les alcools, les acides aminés et les composés aromatiques par production d'enzymes extracellulaires. Cette diversité métabolique est due à leur génome extrêmement large qui a une centaine de facteurs de transcription qui contrôlent l'expression des gènes qui leurs permettent de répondre à leurs besoins.

La recherche de nouvelles souches d'actinomycètes actives à partir d'écosystèmes extrêmes permet, éventuellement, la découverte de souches rares ou de souches pouvant avoir un potentiel de production de métabolites élevé ou inexploité. Le sud Algérien est un écosystème aride caractérisé par des ressources naturelles limitées, un sol pauvre, des

formations végétales basses et ouvertes et des conditions climatiques sévères qui normalement entravent la vie microbienne. Mais de nombreuses recherches consacrées à la microbiologie de ces sols prouvent l'existence d'une microflore abondante et diversifiée. Cette microflore ne cesse d'apporter de nouvelles molécules et occuper une place de plus en plus importante dans le domaine de la biotechnologie (**Smaoui, 2010**).

L'accumulation dans le sol de quantités excessives de sels solubles caractérise les régions arides et subarides, bien qu'elles se produisent parfois en dehors de ces zones. Dans ce type de sol la végétation diminue de manière considérable. Ce qui aura comme conséquence la diminution de matière organique dans le sol et donc une compétition féroce entre les microorganismes du sol, et du coup une réduction importante du taux des microorganismes organotrophes aussi bien en quantité qu'en qualité. Et vu que les actinomycètes sont des producteurs importants d'antibiotiques, Ils utilisent cette caractéristique à leur profit pour qu'ils puissent persister dans le sol. Mais ce n'est nullement pas la seule difficulté à laquelle les actinomycètes doivent surmonter ; l'adaptation à la très haute salinité du milieu est une condition importante pour que ces bactéries puissent y croître. Pour cela, tous les microorganismes doivent maintenir leur cytoplasmes au moins, en iso-osmose avec leur environnements. De plus, les actinomycètes sont connues par leur temps de génération très élevé comparé à celui des autres bactéries, ce qui rend leur isolement une tâche difficilement réalisable (**Smaoui, 2010**).

L'objectif principal de ce travail est d'étudier les caractéristiques morphologiques et physiologiques d'une collection d'actinomycètes provenant de plusieurs sols arides où la vie microbienne est très dure. Pour atteindre cet objectif pratique, notre travail est scindé en trois parties :

La première consiste en une revivification des actinomycètes conservés par congélation.

La seconde étape consiste à déterminer l'effet de la température, du chlorure de sodium et du pH sur la croissance de ces isolats.

La troisième a pour but la caractérisation morphologique des souches actinomycétales.

I. Le sol aride

1. Définition du sol aride

Est un environnement complexe caractérisé par une grande diversité d'organismes (notamment les microorganismes) et les composés chimiques et par la structure physique complexe (**Wild, 1993**). Les sols arides se forment avec le temps à mesure que le climat et la végétation agissent sur le matériau de la roche mère. Les aspects importants de la formation des sols aride dans un climat désertique sont les suivants:

- des changements journaliers importants de température, qui provoquent la désintégration mécanique ou physique des roches en petites particules.
- les sables transportés par le vent qui abrasent les surfaces exposées des roches.

2. Les caractéristiques écologiques

La zone aride est caractérisée à la fois par son climat toujours peu pluvieux, et parfois très irrégulier, et par sa végétation herbacée ou frutescente, rarement arborée, très irrégulièrement répartie, et constituant un couvert excessivement lâche (**Aubert, 1960**). Supportant des conditions aussi sévères, ces sols présentent un certain nombre de caractères constant : évolution lente, profondeur souvent réduite, matière organique fortement évoluée, peu abondante et superficielle ou un peu plus abondante et répartie dans l'ensemble du profil ; structure faiblement définie en général ; élément minéraux assez peu altérés ; colloïdes argileux stables éléments solubles concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés, à un niveau ou à un autre profil, jusqu'à donner naissance à des nodules ou à des croûtes calcaires, gypseuses ou salines ; fréquence, ou moins dans les sols des zones semi-arides, des phénomènes d'hydromorphie. Très souvent calcaires, ces sols sont aussi fréquemment salés. Leur utilisation présente également des caractères particuliers : très extensive, elle a comme base un élevage très lâche et irrégulier ou la culture, très aléatoire, des plantes spécialement adaptées ; très intensive, elle ne peut être fondée que sur l'un ou l'autre des divers types d'irrigation du sol ou d'utilisation de l'humidité de décrue après son inondation. (**Aubert, 1960**).

3. Les caractéristiques microbiologiques

Les sols secs ne présentent qu'une activité microbienne faible, mais lorsque l'humidité augmente l'activité des microorganismes augmente progressivement jusqu'à un maximum puis décroît. (Morel, 1989). La température du sol représente, dans les zones arides, un facteur écologique très important qui régit la multiplication des microorganismes dans ces régions (Sasson, 1967). Les microorganismes du sol aride sont représentés par quelques métazoaires, des protozoaires, des algues microscopiques, des champignons, des bactéries dont des actinomycètes, des cyanobactéries et des virus (Wild, 1993; Maier *et al.*, 2000). Ce sont des micro-organismes qui entrent dans la composition des micro-biocénoses des sols arides, ce qui montre la variabilité de la microflore dans ces biotopes (Sasson, 1967). Les micro-organismes du sol aride, de par leur diversité taxonomique et fonctionnelle, jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement du sol, dans les cycles du carbone et de l'azote, dans la biodisponibilité des éléments nutritifs, la dégradation des polluants organiques, rétention de polluants métalliques, action sur la structure des sols (Inra, 2008).

3.1. Les champignons

Ils sont hétérotrophes, certains d'entre eux sont saprophytes (Wild, 1993). La grande majorité des champignons isolés sont ceux formant un grand nombre de spores, particulièrement les Mucorales (*Mucor*, *Mortierella*, *Rhizous*) et les deutéromycètes (*Penicillium*, *Aspergillus*, *cladosporium*, *Fusarium*, *Alternaria* et *Botrytis*), les champignons semblent être plus résistants que les bactéries aux conditions d'aridité (Berthelin, 1999). Les champignons jouent un rôle dans la décomposition de la matière organique dans les sols exondés, ils dégradent la cellulose et la lignine des végétaux (Maier *et al.*, 2000). Leur rôle dans le cycle de l'azote est peu spectaculaire. Leur rôle essentiel est la minéralisation du carbone organique (Roger et Garcia, 2001). Les champignons participent également 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.*, 2003).

3.2. Les algues

Les algues sont confinées à la surface du sol (Wild, 1993) ou aux quelques centimètres supérieurs. Un grand nombre d'espèces a été isolé des sols mais seulement quelques-unes sont communes: *Chlorococcum humicola* et quelques *Oedogonium* et *Vaucheria*, elles sont inconnues dans les eaux. Les formes du sol sont habituellement plus petites que celles

aquatiques, la plupart sont cosmopolites (ex: *Hantzschia amphixus*, des espèces de *Nostoc*, *Chlamydomonas*, *Stichococcus*, *Zygogonium*, *Hormidium*). Grâce à leur activité photosynthétique, les algues colonisent rapidement les surfaces minérales brutes, dont elles accélèrent l'altération par des substances dissolvantes. Les algues participent aussi à la cohésion des particules solides à travers la production des polysaccharides extracellulaires (Gobat *et al.*, 2003). Elles protègent les environnements arides ou désertiques contre l'érosion en formant des croûtes à la surface du sol (Dommergues et Mangenot, 1970).

3.3. Les protozoaires

Les genres de protozoaires du sol aride sont les mêmes que ceux des environnements aquatiques. Très peu sont exclusivement trouvés dans le sol aride. Les espèces les plus communes sont: *Heteromita globosa*, *Colpoda cucullus* et *Hartmanella hyalina*. Ce sont des consommateurs de bactéries, de levures et de champignons, ils sont impliqués aussi dans la décomposition de la matière organique (Maier *et al.*, 2000).

3.4. Les bactéries

Les bactéries forment tant au plan quantitatif qu'au plan fonctionnel le groupe majeur des microorganismes du sol (Morel, 1989). Les bactéries sont classées en bactéries autotrophes, qui utilisent le carbone sous forme minérale, et bactéries hétérotrophes qui utilisent le carbone sous forme organique (Clement et Lozet, 2011). Elles prolifèrent dans les milieux les plus riches en azote et peu acides, un milieu aéré à pH supérieur à 6. Elles sont surtout abondantes autour des racines de certaines plantes (graminées, légumineuses) au sein de la rhizosphère (Duchaufour, 2001). Par leur durée de vie, les bactéries constituent une fraction importante de la matière organique humifiée : l'humine microbienne. Elles sont participantes à la formation des microagrégats. Mais c'est avant tout par leurs fonctions biogéochimiques, telles la minéralisation de la matière organique, la précipitation de minéraux, et la transformation de certains composants organiques en humine (Gobat *et al.*, 2003).

3.5. Les actinomycètes

Il s'agit d'un groupe d'eubactéries très ramifiées hétérotrophes ayant tendance à former un mycélium ramifié plus ou moins différencié très fin, dans le sol les germes les plus fréquents (*Streptomyces* et *Nocardia*) (Clement et Lozet, 2011). Ils sont plus sensibles à l'acidité que les moisissures préférant des pH de 6 à 7,5 (Soltner, 2005). Les actinomycètes semblent jouer un grand rôle par leur capacité à dégrader des substances organiques difficilement décomposables, et produisent des vitamines et des antibiotiques (Clement et Lozet, 2011). Ils seraient susceptibles de décomposer les composés aromatiques de la matière

organique fraîche (lignine, certains tannins) (**Duchaufour, 2001**). Ils représentent un indice d'un sol à bonne structure et/ou bonne aération (**Clement et Lozet, 2011**).

II. Les actinomycètes

1. Caractéristiques générales des actinomycètes

Les actinomycètes sont des bactéries aérobies, Gram-positif, filamenteuses, avec un coefficient de Chargoff (GC) élevé, saprophytes, largement distribuées dans le sol, l'eau et les plantes montrant une diversité chimique et morphologique marquée, mais forment une ligne distincte de l'évolution des organismes (**Goodfellow et O'donnell, 1989**). Bien que les actinomycètes soient des microorganismes procaryotes, leur morphologie ressemble fortement à celle des micro-organismes eucaryotes comme les champignons filamenteux (**Osada, 1998**). Il existe des formes de transition, mycéliennes typiques et unicellulaires, présentant une aptitude peu marquée à former un mycélium ramifié. Le diamètre des filaments des formes mycéliennes est toutefois environ deux fois plus faible (0,5 à 1,2 μm) que celui des mycéliens des champignons. La plupart des actinomycètes sont terrestres, certaines espèces sont marines (**Mincer et al., 2002**). Les actinomycètes sont répandus dans l'environnement et la plupart des espèces sont chimioorganotrophes, aérobies, mésophiles et croissent de façon optimale dans la gamme de pH 5,0 à 9,0 avec une proximité optimale à la neutralité (**Williams et Wellington, 1982; Goodfellow et Williams, 1983**). Les facteurs importants contrôlant l'abondance et l'activité des actinomycètes dans le sol sont : la disponibilité des nutriments, la nature et l'abondance de la matière organique, la salinité, la teneur en humidité relative, la température, le pH et la végétation du sol (**Goodfellow et Williams, 1983**).

2. Morphologie

La morphologie des différents groupes d'actinomycètes varie de simple bacille diphtéroïde à des formes mycéliennes complexes (**Gottlieb, 1973**) certains peuvent présenter un mycélium se développant sur et dans les milieux : mycélium végétatifs, ou de substrat (**Michel et al., 1988**) constitué par des hyphes, qui pénètrent dans le milieu ou se propagent à sa surface. Cette formation montre la capacité des actinomycètes à dégrader la matière organique insoluble grâce à leurs enzymes extracellulaires (**Locci, 1976**).

3. Physiologie

La croissance des actinomycètes est influencée par plusieurs paramètres physiologiques comme: l'oxygène, le pH, la température...etc.

3.1. L'oxygène

On peut classer les actinomycètes selon leurs types respiratoires en deux groupes :

- Les formes fermentatives anaérobies, représentées par le genre type *Actinomyces*, qui sont des commensales obligatoires des cavités naturelles de l'homme et des animaux supérieurs, Ils font partie de la flore de Veillons (**Avril et al, 1992**).
- Les formes oxydatives aérobies, telles que les *Streptomyces*, sont abondantes dans la nature en particulier sur le sol (**Avril et al, 1992**).

3.2. Le pH

Pour le pH, la plupart des actinomycètes se comportent comme des bactéries neutrophiles, et font une croissance optimale dans un intervalle de pH compris entre 7 et 8, mais on peut observer une croissance à des valeurs de pH inférieures à 4 (**Mc Kinney, 2004**), telle est le cas pour les souches acidophiles comme le genre *Streptacidiphilus* (**Wang et al, 2006**).

3.3. La température

La température optimale de croissance est entre 25 à 30 C°, mais les espèces thermophiles peuvent croître à des températures comprises entre 55 à 65 C° (**Rangaswami et al, 2004**).

3.4. L'activité de l'eau (Aw)

La germination des spores de la pluparts des actinomycètes, peut-être observée à des valeurs d'activité d'eaux supérieures ou égales à 0.67, l'activité d'eau optimale pour la croissance et le développement des actinomycètes est égal à 0,98 (**Zvyagintsev et al, 2005**).

3.5. Tolérance en sel (NaCl)

Selon leurs exigences en NaCl, les microorganismes sont divisés en deux groupes :

- Les halophiles : ont besoin de sel (NaCl) pour leur croissance, cette concentration peut varier de 1 à 6 % (P/V) pour les faiblement halophiles, jusque 15 à 30 % pour les bactéries halophiles extrêmes.
 - Les halotolérants acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leur croissance. On distingue, les légèrement tolérants (tolère de 6 à 8 % de NaCl (P/V)) ; les modérément tolérants (tolère de 18 à 20 % de NaCl (P/V)) ; et les extrêmement tolérants (se développe de 0 % jusqu'à saturation en NaCl) (**Nanjani, 2011**). Différentes stratégies sont suivies par les microorganismes halophiliques pour assurer l'osmo-régulation de leurs cytoplasmes tout en gardant une concentration faible en ions de sodium (Na⁺) (**Oren, 2002**).
- La première consiste à l'accumulation des ions de K⁺ et Cl⁻ dans leur cytoplasme sous forme de KCl (**Sandhya et al, 2011**), à des concentrations plus élevées que la concentration

de NaCl présente tout autour du milieu. Ce mode d'adaptation est énergétiquement moins coûteux (**Oren, 1999(a). Oren, 2006**).

- La seconde agit par exclusion des différents ions présents dans le cytoplasme, par des pompes, tout en accumulant des solutés organiques pour maintenir l'équilibre osmotique. Les différents solutés organiques utilisés sont : glycérol, betaine, ectoine, les sucres comme le saccharose et tréhalose (**Galinski, 1995**). Ce mode est énergétiquement coûteux à cause du coût de la synthèse des molécules organiques (**Oren, 1999 (b)**).

4. Caractères chimiques

4.1. La paroi cellulaire

La paroi cellulaire des actinomycètes ne renferme ni chitine ni cellulose mais une glycoprotéine contenant la lysine (formes fermentatives) ou de l'acide diaminopimélique (formes oxydatives) et leur cytologie est celle des bactéries (**Mariat et Sebald, 1990**). Ils n'ont pas de membrane nucléaire, elles possèdent des organites flagellaires ressemblant à ceux des bactéries. Elles sont pour la plupart, sensibles au lysozyme et aux agents antibactériens ; le diamètre de leur hyphes est plus petit que celui des champignons (**Gottlieb, 1973**).

4.2. La structure de l'ADN

La composition de l'ADN nucléaire permet de définir les familles d'actinomycètes, pour cela on étudie le coefficient de Chargaff ou GC% qui présente le nombre de paires de bases guanine cytosine pour 100 paires de bases dans l'ADN (Tab.1) (**Larpent et Sanglier, 1989**). Les actinomycètes dont le coefficient de Chargaff (G+C %) est généralement compris entre 60 et 75% (**Chun et al., 1997; Ensign, 1978 ; Larpent et Sanglier, 1989**).

Tableau 1 : Différentes valeurs de GC % rencontrées dans le groupe des Actinomycètes (d'après **Williams et al., 1989**).

Genre	G + C % (Moles)
<i>Actinomadura</i>	64 à 69
<i>Nocardia</i>	64 à 72
<i>Streptomyces</i>	69 à 78
<i>Micromonospora</i>	71 à 73
<i>Actinoplanes</i>	72 à 73
<i>Actinopolyspora</i>	64
<i>Agromyces</i>	71 à 77
<i>Frankia</i>	66 à 71
<i>Glycomyces</i>	71 à 73
<i>Nocardiopsis</i>	64 à 69
<i>Rhodococcus</i>	63 à 72
<i>Streptosporangium</i>	69 à 71
<i>Streptoverticillium</i>	69 à 73
<i>Thermoactinomyces</i>	53 à 55

5. Taxonomie

Stanier 1966 subdivise les actinomycètes en quatre familles:

5.1. Les mycobactériacées

Ce sont les actinomycètes dont la morphologie est la plus voisine de celle des bactéries: le mycélium formé en début de développement se rompt rapidement pour libérer des bâtonnets ramifiés ou irréguliers. Les mycobactériacées présentent des affinités marquées avec les corynébactériacées et les bactéries lactiques. Ils se différencient des autres bactéries et actinomycètes, à l'exception de certains *Nocardia*, par leur acido-résistance. Cette famille est représentée par le seul genre *Mycobacterium* qui comprend des espèces pathogènes dont la plus connue est *M. tuberculosis*, agent de la tuberculose (**Stanier, 1966**).

5.2. Les actinomycétacées (ou proactinomycètes)

Cette famille représentée par les genres *Nocardia* et *Actinomyces* occupe une position intermédiaire entre les mycobactériacées caractérisées par une structure bactérienne et les streptomycétacées caractérisées par une structure pseudo mycélienne. Elle diffère des mycobactériacées par sa croissance presque entièrement mycélienne avec toutefois une tendance variable à la segmentation. Elle diffère des streptomycétacées par l'absence de conidies (Tab.2) (Stanier, 1966).

Tableau. 2 : Caractéristiques principales des genres d'actinomycètes fréquents dans les sols. (Stanier, 1966)

Genre	Caractéristique
<i>Nocardia</i>	Filaments qui se fragmentent rapidement en unités bactériennes. les filaments se développent rarement au-dessus de milieu. Les spores sont rarement produites.
<i>Thermoactinomyces</i>	Spore uniques formées sur des filaments dans et au-dessus du milieu. Spore thermorésistantes. Espèces thermophiles.
<i>Streptomyces</i>	Longues chaînes de spores formées sur des filaments qui se développent au-dessus du milieu de culture. De nombreuses espèces produisent des antibiotiques
<i>Streptosporangium</i>	Spores formées dans des sporanges ou en chaînes sur les filaments au-dessus du milieu. Colonies morphologiquement semblables aux <i>Streptomyces</i>
<i>Micromonospora</i>	Les filaments ne se développent pas au dessus du milieu. Spores uniques es produites dans ou à la surfaces du milieu. Croissance lente.

5.3. Streptomycétacées

Cette famille est caractérisée par une structure mycélienne permanente. La reproduction se fait par conidies et rappelle, pour cette raison, celle des champignons. Le genre *Streptomyces* est très répandu dans le sol où il représente souvent 70 à 90 % des actinomycètes. Il se distingue des *Nocardia* par leur mycélium végétatif persistant quel que soit le stade de développement et une reproduction par des conidies en chaîne. Les colonies de *Streptomyces* comprennent un mycélium végétatif très serré, implanté dans le milieu et un mycélium aérien, plus lâche, d'aspect poudreux, formé d'hyphes terminés par des conidies en chaînes. Le genre *Micromonospora* est caractérisé par un développement faible ou nul du mycélium aérien; les conidies, isolées ou en grappes, sont portées directement par le mycélium végétatif. Les différentes espèces, pour la plupart thermophiles, se développent surtout dans les fumiers et les composts (Fig.1) (Stanier, 1966).

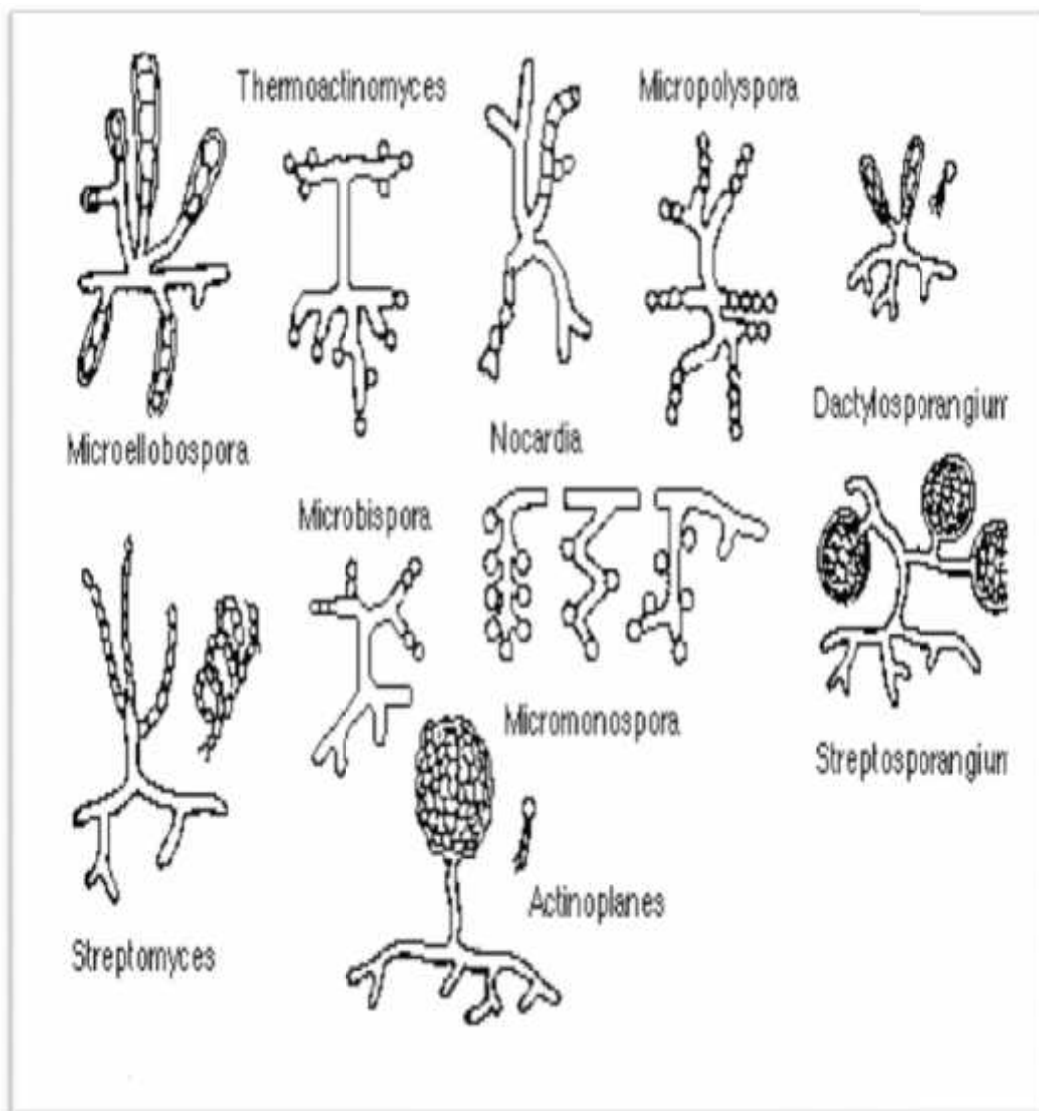


Figure 1 : Principaux groupes d'actinomycètes.

5.4. Les actinoplanacées

Les espèces appartenant à cette famille ont un cycle qui présente un stade mobile (Sporangiospores mobiles). Le genre *Actinoplanes* est aquatique (Stanier, 1966).

6. Détermination des genres et des espèces

La définition des genres et des espèces se fonde sur un ensemble de caractères morphologiques et chimiotaxonomiques.

6.1. Caractères morphologiques

Les principaux critères morphologiques correspondent à la présence, l'abondance et la disposition des hyphes du substrat ou du mycélium aérien. Ainsi que la présence des spores, leur nombre, leur mobilité, leur forme, leur position sur les hyphes, la présence de sclérotés, de sporanges ou de synnémata.

6.2. Caractères chimiotaxonomiques

La composition de la paroi cellulaire en acide aminés, glucides et lipides constituent le principal caractère utilisé en chimiotaxonomie (Larpent et larpent-gourgaud, 1985).

6.3. Les acides nucléiques

Les déterminations portent sur le pourcentage de guanine et cytosine, sur le spectre obtenu par électrophorèse des fragments de l'ADN (obtenus par la digestion par les enzymes de restriction), sur le taux d'hybridation ADN – ADN ou ADN-ARN et sur la séquence de l'ARNr 16S. Une différence de plus de 10% indique que deux souches sont sans relation. Au-delà de 70% de similitude (l'hybridation ADN-ADN), deux souches sont considérées comme appartenant à la même espèce. Le séquençage de l'ARNr 16S, constitue un outil précieux pour déterminer le degré de relation entre souches, espèces et genres (Larpent et Larpent-gourgaud, 1985).

7. Mode de reproduction : cycle biologique

La structure d'une colonie de streptomycètes démontre le degré de différenciation d'un tel organisme. Le cycle biologique est comparable à celui de nombreux micromycètes eucaryotiques. Les actinomycétales possèdent une structure de procaryotes mais un cycle biologique semblable à certains champignons (fig.2) (Sanglier et Trujillo, 1997).

7.1. Germination des spores

Quatre étapes peuvent être distinguées ; l'activation, l'initiation, l'émergence du tube germinatif et sa croissance, pour lesquelles le degré hygrométrique joue un rôle important.

7.2. Mycélium primaire

Le tube de germination va croître et donner des hyphes qui se ramifient intensément. Ce mycélium se développe sur et dans le substrat. Il est dénommé mycélium primaire, mycélium végétatif ou mycélium de substrat. Eventuellement pigmenté, il forme des parois transversales isolant les zones les plus âgées. Il peut se fragmenter chez les bactéries du genre *Nocardioformes*.

7.3. Mycélium secondaire

Sur ce mycélium primaire va se développer un mycélium secondaire aérien (fig.3). Ces hyphes sont peu ramifiés et pourvues d'une enveloppe hydrophobe, elles sont plus épaisses que les hyphes primaires. Ce mycélium est généralement pigmenté (gris, vert, rouge...) sur ce mycélium aérien se forment des spores.

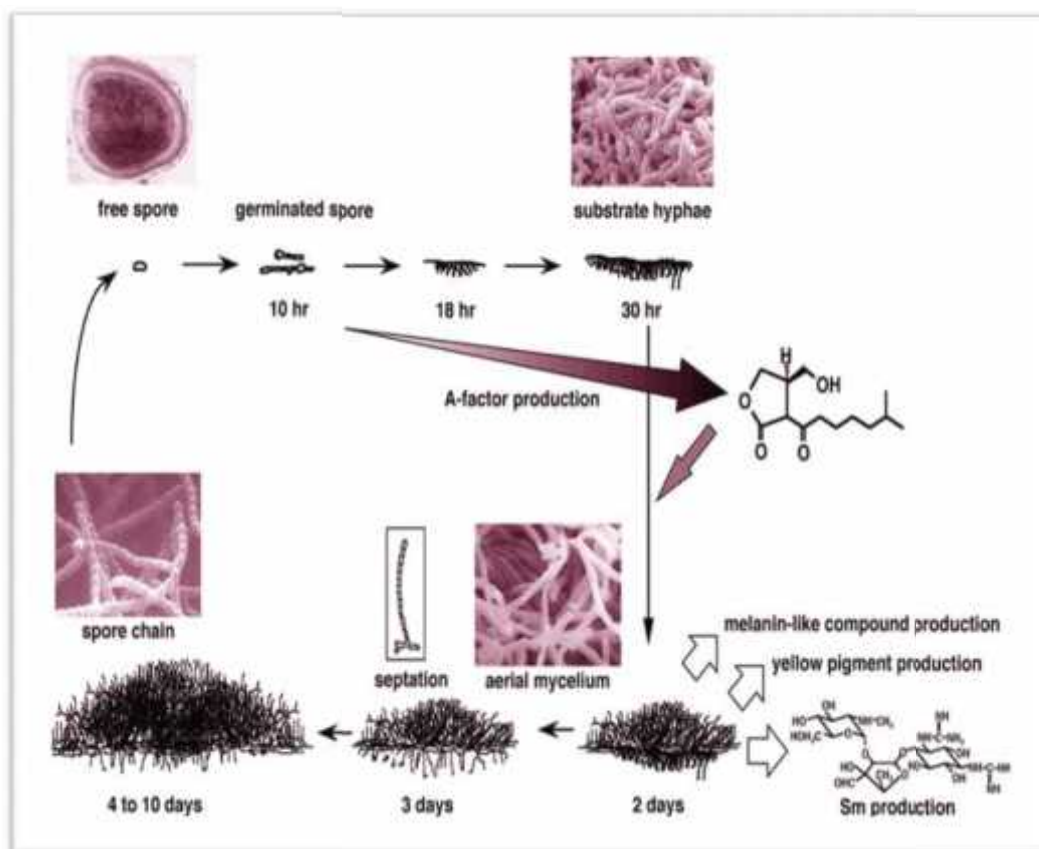


Figure 2: Cycle de développement de *Streptomyces griseus* (Horinouchi, 2002)

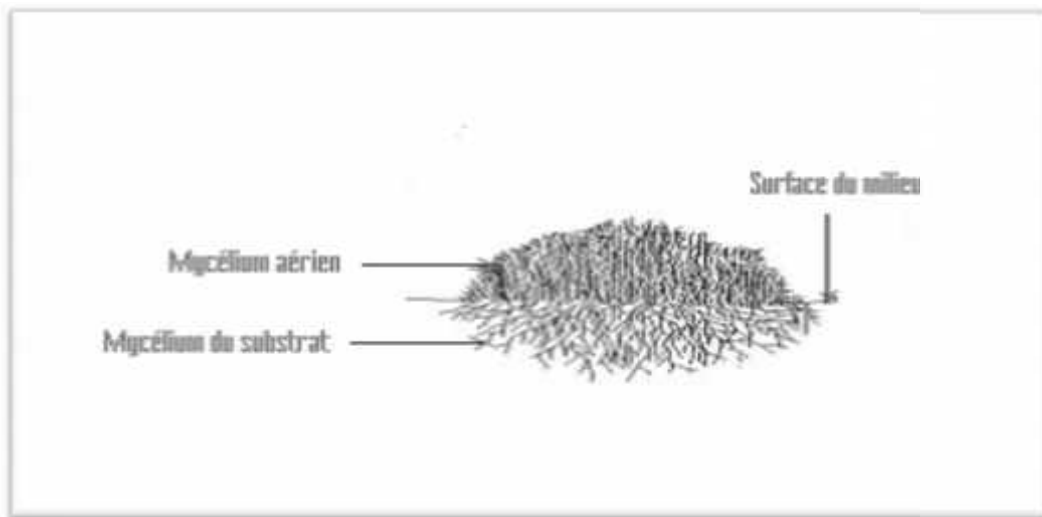


Figure 3 : Croissance d'une colonie d'actinomycètes sur milieu solide.

7.4. Formation des spores

Les différents groupes d'actinomycètes peuvent sporuler en morcelant certains hyphes pour former des conidies, un peu plus résistantes aux conditions hostiles que les hyphes, soit en produisant des endospores hautement résistants à la chaleur et d'autre adversité.

7.4.1. Les endospores

Elles naissent d'une réorganisation du cytoplasme avec formation d'une nouvelle paroi dans l'hyphe. Elles sont caractéristiques du genre *Thermoactinomyces*.

7.4.2. Les exospores

Elles naissent de la formation de parois transversales pour délimiter les spores. Les parois s'épaississent autour de chaque spore individualisée. Des ornements externes peuvent se former, le contenu en tréhalose, relativement abondant aurait un rôle dans la dormance et la résistance des spores. Par ailleurs, celles-ci ont fondamentalement la même structure qu'une cellule végétative et ne contient qu'un seul génome haploïde. La sporulation est contrôlée par des facteurs extérieurs aux microorganismes et par des facteurs propres à ceux-ci. Parmi les éléments extérieurs favorisant la sporulation, nous retiendrons principalement : la dessiccation, une concentration élevée en gélose, le glycérol comme source de carbone, l'urée comme source d'azote, l'addition de carbonate de calcium et D'extrait de sol, la présence de magnésium, de fer et de manganèse, et un pH légèrement alcalin voisin de 7,5. Les facteurs propres aux microorganismes sont d'ordres génétiques et biochimiques. De nombreux travaux ont mis en évidence des biorégulateurs codés par des

gènes chromosomiques et plasmidiques influant de manière complexe sur la sporulation ainsi que sur la biosynthèse de métabolites secondaires (Khokhlov, 1986).

8. Ecologie des actinomycètes et distribution dans la nature

Les actinomycètes sont ubiquitaires, ils colonisent une large variété d'habitats naturels et en particulier le sol (Lacey, 1973; Porter, 1971; Waksman, 1959; Williams *et al.*, 1984). Ils sont capables de se développer sur une large gamme de substrats. Ils sont présents dans le sol polaire gelé en permanence tout comme dans les sols désertiques chauds et secs, dans le pétrole brut, les sols hautement contaminés avec les métaux lourds, les lacs extrêmement alcalins et les lacs salés. Par contre, ils semblent être absents des eaux minières très acides (pH<1) et des sources thermales très chaudes d'origine volcanique (Hwang *et al.*, 2001). La plupart des actinomycètes sont saprophytes mais quelques-uns peuvent être pathogènes ou symbiotes des plantes et des animaux (Suzuki *et al.*, 1994). En générale, les actinomycètes sont des hétérotrophes, mais plusieurs espèces sont capables aussi de croissance chimioautotrophe (Ensign *et al.*, 1993). Physiologiquement, il est possible de distinguer les formes aérobies qui sont de très loin les plus nombreuses, et des types anaérobies trouvés primitivement chez les animaux et l'homme. Les actinomycètes préfèrent un pH neutre ou peu alcalin, ils sont généralement mésophiles, d'autres sont thermophiles tolérants des températures avoisinant les 50°C et peuvent aller jusqu'à 60°C (Omura, 1992).

8.1. Les actinomycètes dans les sols

Dans le sol, de nombreux actinomycètes sont saprophytes. Ils sont l'un des principaux groupes de la population du sol et sont très largement distribué (Kuster, 1968). Les *Streptomyces* sont tolérants à des conditions d'acidités (Davies et Williams, 1970). Les sols arides de pH alcalin ont tendance à contenir moins de *Streptomyces* en plus des genres rares tel que *Actinoplanes* et *Streptosporangium*. Les sols des oasis du Sahara Algérien, bien que soumis à un climat aride, se sont révélés riches en actinomycètes parfois réputés rares de par le monde (Boudemagh, 2007). On les trouve non seulement dans les horizons de surface, mais aussi à plus de 2 mètres de profondeur et en quantité appréciable (Sabaou *et al.*, 1998). Les bactéries actinomycétales produisent des substances spécifiques telles que la géosmine et le 2-méthyl isobornéol qui sont responsables de l'odeur d'humus caractéristique des sols (Omura, 1992 ; Zaitlin *et al.*, 2003).

8.2. Les actinomycètes dans les milieux marins

L'opinion selon laquelle des actinomycètes peupleraient normalement le milieu marin est très controversée. Selon les uns, les souches d'actinomycètes isolées de tels milieux ne seraient que des formes terricoles adaptées à la salinité de l'eau de mer ; selon d'autres, il

existerait bien une flore d'actinomycètes propre aux sédiments marins caractérisée par sa barotolérance, son halophilie et une température optimale faible ; ainsi, certaines souches Nocardioformes isolées à plus de 2000 m de profondeur se développent sous les pressions hydrostatiques de 500 bars en présence d'eau de mer à 18°C (Weyland, 1981).

8.3. Les actinomycètes dans les eaux douces

Les actinomycètes sont bien représentés dans ce milieu d'où l'on peut facilement isoler des souches de *Micromonospora*, d'*Actinoplanes* et de *Streptosporangium*. C'est essentiellement dans des sédiments des fonds fluviaux ou lacustres que ceux-ci sont présents où ils jouent un rôle important dans la décomposition des débris végétaux et donnent à l'eau son odeur de terre et sa saveur (Weyland, 1981).

8.4. Les actinomycètes dans l'air

L'air constitue pour les actinomycètes, non pas un habitat, mais un moyen de transport (Gazengo *et al.*, 1998, Reponen *et al.*, 1998). Les spores d'actinomycètes thermophiles sont produites en grande quantité et sont facilement mises en suspension dans l'air et leur dissémination se fait facilement grâce au mouvement de l'air (Mazodier, 1974), c'est le cas des spores de l'espèce *Actinomyces invulnerabilis*. Les spores des actinomycètes sont des contaminants importants de notre environnement. L'exposition à ces derniers peut causer des effets néfastes sur la santé (Gazenko *et al.*, 1998 ; Reponen *et al.*, 1998).

8.5. Les actinomycètes dans les composts

Le compostage est défini comme étant la décomposition biologique thermophile, en présence d'oxygène et dans des conditions contrôlées, de déchets organiques collectés séparément, sous l'action de micro et macroorganismes, afin de produire du compost. Le compost, produit final du compostage est composé pour l'essentiel de la matière organique de type humique stable et de composés minéraux. Des actinomycètes sont isolés des composts, il s'agit de genres thermophiles tels que *Thermoactinomyces*, *Sacharomonospora* et d'autres thermotolérants tel que *Microbispora*, *Micropolyspora*, *Pseudonocardia* (Ensign *et al.*, 1993 ; Lacey, 1997 ; Song *et al.*, 2001). Les actinomycètes sont actifs dans les derniers stades du compostage. Ils se sont spécialisés dans l'attaque des structures plus résistantes comme la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

9. Importance des actinomycètes dans les différentes industries

Les actinomycètes fournissent une ressource précieuse pour les produits d'intérêt industriel, y compris les enzymes et les agents antimicrobiens (Tsujibo *et al.*, 2003), participent à la dégradation de la matière organique difficilement décomposables, et

produisent des vitamines (**Clement et Lozet, 2011**). Ils seraient susceptibles de décomposer les composés aromatiques de la matière organique fraîche (lignine, certains tannins) (**Duchaufour, 2001**).

9.1. Dans la production des antibiotiques

Le travail de pionnier de Waksman en **1940** a montré que les actinomycètes sont capables de produire des antibiotiques médicalement utiles. Ce qui rend trois quarts de tous les produits connus; exemple la streptomycine produite par *Streptomyces griseus* (**Leminor, 1989 ; Sanglier et Trujillo, 1997**). Les actinomycètes sont donc les producteurs prolifiques d'antibiotiques et autres métabolites secondaires utiles (**Okami et Hotta, 1988**). Environ 70% de tous les antibiotiques connus ont été produits à partir de bactéries actinomycétales, dans laquelle 75% étaient utilisés en médecine et 60% dans l'agriculture (**Ben Ameer-Mehdi et al., 2006**). Le genre *Streptomyces* représente la source la plus importante de métabolites secondaires, produisant un nombre et une diversité chimique d'antibiotiques remarquable (**Watve et al., 2001**) aussi bien pour les maladies humaines qu'animales : Il s'agit d'antibactériens (streptomycine, tétracycline, chloramphénicol), d'antifongiques (nystatine), d'antivirales (tunicamycine), d'antiparasitaires (ivermectine), d'immunosuppressive (rapamycine), antitumorale (actinomycine, mitomycine C, anthracyclines), d'inhibiteurs d'enzymes (acide clavulanique) (**Demain, 2000**). Voici quelques exemples d'antibiotiques produits par les actinomycètes :

9.1.1. La tétracycline

Les molécules de tétracycline présentent une activité contre une large gamme de bactéries Gram-négatif et Gram-positif, des organismes atypiques tels que les chlamydiae, les mycoplasmes, les rickettsies et les protozoaires sont sensibles. Ils sont aussi largement utilisés comme additifs de croissance des animaux. La première tétracycline, (auréomycine) a été produite par *Streptomyces aureofaciens*.

9.1.2. La pénicilline

La pénicilline est produite par les champignons. Elle est aussi biosynthétisée par certaines espèces d'actinomycètes. La pénicilline inhibe la synthèse de composants structuraux essentiels de la paroi cellulaire bactérienne plus exactement le peptidoglycane qui est absent dans les cellules mammifères. C'est une molécule qui possède un large spectre d'activité contre les bactéries Gram-positif, mais montre une faible activité contre les aérobies Gram-négatif. La pénicilline est rapporté être produit en grande quantité par *Streptomyces lavendulae* (**Torres et al., 1999**).

9.1.3. Les fattiviracines

Les fattiviracins sont des diester macrocyclique constitués de quatre unités de D-glucose et de deux acides gras hydroxylés (C24 et C33). Les fattiviracins ont une activité puissante contre des virus à ADN enveloppés telle que la famille de l'herpès, HSV-et VZV et des virus à ARN enveloppés tels que la grippe A et B. Le producteur de ce type d'antibiotique est *Streptomyces micoflavus* (Uyeda, 2003). Les fattiviracins agissent sur les VIH-I directement sans lyse des particules, et permettent l'inhibition de l'entrée virale dans les cellules hôtes (Demain, 2000).

9.2. Dans la production des enzymes

Les actinomycètes possèdent une grande capacité à produire nombreux molécules bioactives, notamment des enzymes. Les actinomycètes aquatiques sont apparus comme source riche pour la production d'enzymes industriellement importants. L'amylase est une des enzymes couramment utilisées dans différentes industries de l'amidon. Dans les industries textiles l'amylase est utilisée pour le redimensionnement des matériaux des vêtements. Les actinomycètes sont de bons agents de décomposition de matières organiques par la sécrétion d'enzymes hydrolytiques extracellulaires tels que les amylases, les protéases et les chitinases. Les protéases catalysent l'hydrolyse de protéines à des peptides et acides aminés. L'uréase Enzymatique joue un rôle important dans la dégradation de l'azote organique (N). Le genre *Streptomyces* a révélé un potentiel biotechnologique intéressant pour la production d'enzymes (par exemple la xylose isomérase est issue d'un Streptomycète thermophile Il est également responsable de la biodégradation de biopolymères (par exemple le chitosane ou de polluants organiques (par exemple l'acide phénylacétique (Niraula *et al.*, 2010).

9.2.1. Les ligninases

Les ligninases sont classées en trois catégories : les lignines peroxydases, les peroxydases Mn- dépendantes et les laccases (monophénol oxydases). Elles sont produites essentiellement par des champignons les basidiomycètes de la pourriture blanche et par quelques actinomycètes. Parmi les principales espèces actinomycétales on peut citer *Streptomyces thermoviolaceus*, *Streptomyces viridosporus*, *Streptomyces fusca*. Les ligninases améliorent le rendement d'hydrolyse de la cellulose dans le cas de certaines matières lignocellulosiques et de certains prétraitements. Leur ajout dans le mélange est nécessaire à l'hydrolyse enzymatique qui pourrait également avoir un impact sur les conditions ou le mode de prétraitement (Sanglier *et al.*, 1993).

9.2.2. Les pectinases

La production des enzymes pectolytiques est élaborée par différents genres d'actinomycètes tel que : *Micromonospora*, *Microbispora*, *Streptosporangium* et *Streptomyces* (Demain et Solomon, 1985 ; Sanglier *et al.*, 1993). La dégradation complète des pectines est conduite par l'action combinée de trois activités pectolytiques (pectine lyase, pectinestérase, polygalacturonase).

9.2.3. Les amylases

Elles sont produites par la majorité des actinomycètes, le plus intéressantes sont celles produites par les espèces thermophiles comme *Thermoactinomyces vulgaris*, *Saccharomonospora viridis* et les espèces de genre *Streptomyces* (Sanglier *et al.*, 1993).

9.2.4. Les xylanases

Elles sont élaborées par des espèces thermophiles du genre *streptomyces* et des souches du genre *Promicromonospora*, ainsi que par différentes espèces de *Micromonospora*, *microbispora* et *Thermomonospora* (Demain et Solomon, 1985 ; Rivas *et al.*, 2003 ; petrosyan *et al.*, 2003).

Tableau 3 : Exemples d'enzymes employées dans différents secteurs industriels(Kirk *et al.*, 2005).

Secteur industriel ou Classe d'utilisation	Enzymes	Applications
Industrie des détergents	- Cellulase - Amylase - Protéase - Lipase	-Nettoyage, clarification des couleurs. -Enlèvement des tâches d'amidon -Enlèvement des tâches protéiques -Enlèvement des tâches des graisses
Industrie des boissons	- Pectinase - Amylase	-Dépectinisation, Clarification des jus, broyage. -Traitement des jus.
Produits laitiers	-Pectine méthyl estérase - Protéase - Lipase	-Affermissement de produits à base de - Fruits. -Lait caillé. -Aromes des fromages.
Industrie textile	- Cellulase - Pectate lyase	-Assouplissement du coton -Lessivage
Pâte à papier	- Pâte à papier	-Désencrage, améliorant de drainage, - Modification de la fibre. -Augmentation du blanchiment

10. Rôle des actinomycètes dans la biodégradation de la matière organique

Les matières organiques subissent, au contact du sol, une série de transformation (**Soltner, 2005**). Les microorganismes jouent un rôle prépondérant dans la formation du sol et dans son fonctionnement. L'un des processus principal concerne la dégradation de la matière organique et les grands cycles qui dépendent directement comme celui du carbone et de l'azote. A l'égard des éléments nutritifs, les microorganismes peuvent à la fois agir comme source et comme réservoir. Mais les microorganismes participent également à la réalisation d'association organo-minérale du sol (**Oustani, 2006**).

10.1. Minéralisation primaire

C'est une phase de transformation de la matière organique fraîche jusqu'à la matière organique minéralisée. Les molécules complexes de la matière organique fraîche (glucides, cellulose, hémicellulose, lignine, protéines, lipides, ...) subissent une décomposition qui libère des composés simples, le plus souvent solubles ou gazeux : NH_3 ; CO_2 ; NO_3 ; SO_4 (**Oustani, 2006**). Cette étape est essentiellement biologique (**Soltner, 2005**). Elle est le fait de nombreux microorganismes aérobies et anaérobies (exemple : Bactéries appartenant au genre : *Protéus*, *Pseudomonas*) et elle dépend de la température, de l'humidité, de l'effet de végétation et de l'aération (**Dommergues et Mangenot, 1970**).

10.1.1. Dégradation des glucides simples

Ces corps sont les premiers attaqués par les microorganismes, les termes finaux de la minéralisation sont le gaz carbonique et l'eau (**Meftah, 1988**). Cette dégradation active énormément la vie microbienne et provoque la multiplication des bactéries (**Soltner, 2005**).

10.1.2. Dégradation de l'amidon

Comme celle des glucides simples, l'amidon est une source d'énergie facilement accessible aux microorganismes qui les oxydent rapidement : en milieu aéré, les levures et les bactéries leur font subir des fermentations avec production d'alcool et d'acide et dégagement de CO_2 . En milieu anaérobie, l'amidon est transformé en méthane et en hydrogène gazeux (**Soltner, 2005**).

10.1.3. Dégradation de la cellulose

La dégradation de la cellulose représente un phénomène important en agronomie et dans la vie du sol en général. C'est en effet le constituant essentiel quantitativement du tissu végétal, donc la source majeure de carbone pour le sol (**Soltner, 2005**). L'aptitude à dégrader la cellulose se rencontre chez des microorganismes très divers : les bactéries, les actinomycètes, les champignons filamenteux et autres. Sous l'action de la cellulase, la

cellulose est dégradée en glucose. Celui-ci aura deux destinées suivant que la microflore soit aérobie ou anaérobie. Chez la microflore aérobie, les produits sont le CO₂ et H₂O alors que la microflore anaérobie produit le CO, H₂O, l'éthanol, l'acide acétique (**Soltner, 2005**).

10.1.4. Dégradation de la lignine

Les molécules de lignine sont formées de nombreux noyaux aromatiques agglutinés, polymérisés. C'est un constituant important du tissu végétal, leur décomposition est plus difficile et lentement attaquée par les champignons et les bactéries, sauf en conditions très favorables de l'aération et de l'acidité du milieu (**Soltner, 2005**).

1.1.5. Humification

C'est une transformation au cours duquel la matière organique fraîche où les composés solubles issus de la minéralisation primaire évoluent en humus. Cette humification dépend de plusieurs facteurs dont le plus important constitue l'activité des microorganismes du sol. Mais on note également les facteurs externes (climat, pH, température, aération, type du sol et enfin de la nature du composé à dégrader). D'après (**Gobat et al, 2003**), sous le terme général d'humification se cachent trois voies de synthèse de matière organique stabilisée formant l'humus au sens biochimique.

- L'humification par héritage, qui donne l'humine résiduelle ou héritée
- L'humification par polycondensation, qui fournit l'humine d'insolubilisation,
- L'humification par néosynthèse bactérienne, qui produit l'humine microbienne

10.2. Minéralisation secondaire

C'est la plus lente (1 à 3 %) de la matière humifiée par an mais aboutissant au même résultat que la minéralisation primaire et concernent les molécules organiques préalablement synthétisées par l'humification. Ces molécules sont plus stables et résistent mieux à la dégradation (**Gobat et al, 1993**).

1. Revivification des souches d'actinomycètes

Les actinomycètes qui ont été isolés dans des travaux antérieurs et conservés par congélation ont subi une revivification. 0.1 ml de chaque isolat bactérien sont ensemencés en surface dans des boîtes de Pétri contenant le milieu Amidon-caséine (**Annexe**). Les boîtes de Pétri sont ensuite incubées à 28 °C pendant 21 jours. Des observations régulières sont effectuées chaque jour après la première semaine.

2. Caractérisation macroscopique des isolats d'actinomycètes

Après la première semaine d'incubation, les aspects macroscopiques ont été déterminés pour toutes les colonies qui ont poussées sur milieu Amidon-caséine. La couleur, la taille, la forme et la texture de chaque colonie ont été examinés. Une observation sous microscope optique grossissement $\times 10$ est également effectuée pour déterminer l'aspect filamenteux et poudreux caractéristique des actinomycètes.

3. Effet de quelques facteurs physiologiques sur la croissance des isolats d'actinomycètes

2.1. Effet de la température sur la croissance des souches d'actinomycètes

Les souches actinomycètes obtenues après revivification sont ensemencées sur le bouillon nutritif liquide (**Annexe**). L'incubation des cultures est effectuée aux températures suivantes : 6°C, 25°C, 37°C, 45°C, et 60°C. Un tube contenant le bouillon nutritif est également utilisé comme témoin. Après incubation, un trouble du milieu de culture témoigne de la croissance de la souche et indique un résultat positif. La croissance est évaluée soit faible, modérée ou abondante après 7 à 14 jours d'incubation (**Smaoui, 2010**).

2.2. Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance des isolats d'actinomycètes

Ce test est réalisé dans des tubes contenant du bouillon nutritif liquide additionné de différentes concentrations d'NaCl. Les concentrations testées sont 2.5% ; 5% ; 10% ; 20% et 25% (m/v). Après ensemencement, les tubes sont incubés à 28°C pendant 7 à 14 jours. La croissance des souches sur ce milieu est comparée avec celle d'un milieu sans NaCl pris comme témoin. Un trouble du milieu de culture témoigne de la croissance de la souche, et la

croissance est notée (faible, moyenne, bonne ou très bonne). La tolérance maximale au chlorure de sodium correspond à la dernière concentration présentant encore une croissance **(Shirling et Gottlieb, 1966)**.

2.3. Effet du pH sur la croissance des isolats

Les souches d'actinomycètes sont ensemencées par la méthode des stries dans des boîtes de Pétri contenant la gélose nutritif (G.N.) préparée à différents pH (4.5 - 6.2 - 7.2 - 8 et 9). Après 7 jours d'incubation à 28°C, la croissance des souches est appréciée. **(Shirling et Gottlieb, 1966)**.

4. Caractérisation morphologique des actinomycètes

L'observation du mycélium aérien et du mycélium du substrat ainsi que la morphologie des hyphes, la disposition des ramifications et les chaînes de spores est effectuée grâce à la technique de culture sur lamelle : Cette technique a été décrite par **(Williams et Cross, 1971 et Liu *et al.*, 2005)**.

4.1. Technique de culture sur lamelle.

Une partie d'une colonie isolée est broyée stérilement avec une tige en verre. 3 à 4 gouttes d'eau distillée stérile sont ensuite déposées sur une lamelle fermement fixée au milieu ISP1 (**annexe**) faisant un angle de 45° avec le plan de la gélose. Les boîtes ainsi préparées sont ensuite incubées à 30°C.

Après 7 à 14 jours d'incubation les lamelles sont soigneusement retirées de la gélose, entraînant ainsi avec elle les mycéliums du substrat et les mycéliums aériens. Ces derniers restent intacts et ne subissent aucune dénaturation. La lamelle est ensuite déposée sur une lame propre, puis examinée sous microscope optique au grossissement (x40). La forme des filaments du mycélium aérien peut être également observée sous microscope optique au grossissement X10 autour des colonies **(Williams et Cross, 1971)**. L'aspect des deux types de mycélium et les autres types morphologiques sont dessinés ou photographiés moyennant

un microscope relié à une caméra. Les résultats sont comparés avec les schémas édités dans la 9^{ème} publiés dans le Bergey's manual of determinative bacteriology (**Annexe**).

Les actinomycètes sont des bactéries très importantes dans le domaine de la biotechnologie, dans l'environnement et dans l'agriculture. Ces bactéries sont d'habitude isolées à partir des écosystèmes telluriques situés dans des zones climatiques clémentes et douces. Ces bactéries qui proviennent de ces biotopes ont été largement explorées et très bien étudiées. La physiologie des actinomycètes isolés des zones extrêmes comme les sols arides, est totalement inconnu.

Dans cette étude, la majorité des 8 actinomycètes isolés des sols arides sont des halotolérants qui résistent à des concentrations de NaCl qui atteignent les 25%. Concernant le pH, nos souches sont capables de croître sur un grand intervalle allant de 4,5 à 9. Nos souches sont particulières et ne ressemblent pas aux actinomycètes ordinaires qui préfèrent le pH neutre ou légèrement alcalin. Les actinomycètes sont connus par leur aptitude à croître dans la température mésophile, toutes nos souches sont capables de croître à 25°C, mais d'autres souches peuvent pousser à 6°C, 37°C et 60°C. Ces résultats montrent que nos actinomycètes possèdent une biodiversité physiologique remarquable.

La technique des lamelles, nous a permis de mettre en évidence la biodiversité morphologique des actinomycètes. Nous avons pu par cette technique assigner certaines souches au genre *Streptomyces*.

Nous comptons dans l'avenir continuer à étudier d'autres écosystèmes extrêmes afin de définir leurs caractéristiques physiologiques qui peuvent être nouvelles et intéressantes. Nous espérons également identifier par méthodes moléculaires les actinomycètes de ces zones.

1. Revivification des souches d'actinomycètes

Les actinomycètes de la collection se présentent sur milieu Amidon-caséine sous leurs aspects caractéristiques. Ce sont des colonies d'aspect filamenteux, poudreuses de couleurs multiples qui adhèrent fortement à la gélose. La technique de conservation appliquée à ces bactéries dans des travaux précédents est très adéquate, car nous avons pu réactiver ces isolats sans dommages et pertes. La photographie 01 montre l'aspect macroscopique d'un isolat d'actinomycète. Les colonies apparaissent de couleur blanche, avec un aspect poudreux de couleur brune.



Photographie 1 : Aspect des colonies d'un isolat d'actinomycète après revivification

2. Caractérisation macroscopique des isolats d'actinomycètes

Les colonies apparaissent après environ 7 jours d'incubation à 28 °C. Elles sont rondes, sèches et rugueuses et ne dépassant jamais les 4 mm de diamètre. Elles adhèrent toutes fortement à la gélose, indiquant la présence de mycélium aérien et de substrat. Les couleurs sont différentes (beige, blanche, noir, marron, rouge, orange), elles varient d'un isolat à un autre. L'aspect filamenteux apparaît sous observation au grossissement X10. Ces caractères ressemblent beaucoup à ceux des actinomycètes et confirment l'appartenance de ces isolats à ce groupe bactérien.

3. Détermination de l'effet de quelques caractères physiologiques sur la croissance des isolats d'actinomycètes

3.1. Tolérance au chlorure de sodium

Les résultats de ce test sont représentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Test de croissance des souches actinomycètes sur bouillon nutritif à différentes concentrations de NaCl.

souches	Concentrations de NaCl					
	0%	2.5%	5%	10%	20%	25%
S5	+	+	+	+	+	+
S7	+	+	+	+	+	-
Sel 4	+	+	+	+	+	-
SP2	+	+	+	+	-	-
SS	+	+	+	+	+	+
S15	+	+	+	+	-	-
S4	+	+	+	+	-	-
Sel 5	+	+	+	+	-	-

(-) pas de croissance, (+) croissance.

Selon l'exigence en NaCl, Les bactéries sont classés en deux grandes catégories : les halophiles et les halotolérantes et à l'intérieur de ces deux classes existent des sous-classes (Nanjani, 2011). En se basant sur cette classification et suivant les résultats représentés dans le tableau 4, nous constatons que nos 8 isolats d'actinomycètes peuvent vivre en absence ou en présence d'NaCl dans leur milieu. Ce sont donc selon la classification, des actinomycètes halotolérants. Parmi eux deux souches sont halotolérantes extrêmes car elles peuvent vivre à des concentrations très élevées de NaCl qui peuvent atteindre les 25 %. Il s'agit des souches (S5 et SS). Deux souches sont halotolérantes modérées qui sont capables de tolérer une concentration de 20 % de NaCl dans leur milieu de culture, il s'agit de (S7, SEL 5). Le reste des souches sont des halotolérantes légères du fait qu'elles se développent sur 10 % de NaCl. Il s'agit des souches (S7, S4, S15 et SP2).

Tang *et al.*, 2003, ont classé les actinomycètes selon leur aptitude à croître en présence de NaCl en plusieurs classes (tableau 5). Par ailleurs, les bactéries halotolérantes acceptent des concentrations modérées mais elles ne sont pas obligatoires pour leur croissance

(Dassarma et Arora, 2001 et Lefebvre, 2005). Selon cette classification et sauf pour les isolats S5 et SS, qui poussent dans des concentrations élevées de sel, nos isolats sont des halotolérants. Ils acceptent des concentrations modérées mais elles ne sont pas obligatoires pour leur croissance. Ces souches sont d'une importance capitale. Elles peuvent se développer dans différentes concentrations de NaCl. Cela veut dire que ces bactéries peuvent s'adapter à des sols contenant des concentrations très variables en sel. En d'autres termes, si nos souches possèdent par exemple des mérites écologiques comme la capacité de biodégrader des polluants, elles pourront être utilisées dans la bioremédiation de sols à différentes concentrations de NaCl.

Tableau 5: Classification des microorganismes halophiles (Tang *et al.* 2003).

Microorganismes	Concentration optimal (NaCl)
Non halophiles	0, 2 mole/L (1,77%)
Faiblement halophiles	0,2 – 0,5 mole/L (1,77 – 2,93%)
Modérément halophiles	0,5 – 2,5 mole/L (2,93 – 14,63%)
Halophiles extrêmes	2,5- 5,2 mole/L (14,63 – 30,4%)
halotolérants	0,2 à 5,2 mole/L (1,77 à 14,63%)

3.2. Croissance à différentes valeurs de températures

Les résultats de la croissance à différentes températures des 12 souches d'actinomycètes étudiés figurent dans le tableau 6.

Tableau 6 : Croissance des isolats d'actinomycètes à différentes valeurs de températures.

Souches	Températures				
	6°C	25°C	37°C	55°C	60°C
S S	-	+	-	-	-
S 4	+	++	+ /-	++	++
S 5	-	++	++	+	-
Sel 5	+	+	+	++	+++
Sel 4	-	+	+	++	+/-
S 15	+	+	+	++	++
S 7	+	++	+/-	+	+
SP2	+	++	+	+	++

(-) pas de croissance, (+/-) croissance faible,
 (+) croissance modéré, (++) croissance abondant.

Les résultats exprimés dans le tableau 6, nous informent que nos isolats poussent à différentes températures (**Rangaswami et al., 2004**).

Les souches d'actinomycètes (Sel 4, S5 et SS) ne poussent pas à 6 °C ce ne sont donc pas des psychrophiles. Les (S4, Sel 5, S 15, S7 et SP 2) sont capables de se développer à 6°C. Ces dernières se développent aussi à des températures moyennes allant de 25 °C à 37 °C et même à des températures élevées de 55° C à 60° C. La plage de température de ces cinq bactéries est très étendue, avec un optimum à 25° C pour les souches S4, S7 et SP2. Les souches Sel 5, S 15, préfèrent les températures très élevées entre 55° C et 60° C.

La majorité de nos souches sont donc des thermo tolérantes. Elles sont de ce fait, très intéressantes car elles peuvent s'adapter à des plages de températures très étendues. Par conséquent, ce sont des bactéries capables de s'adapter à des températures très variées. Ce qui explique les aptitudes d'adaptation de ces bactéries aux changements de température, ce sont donc les conditions climatiques dans les sols désertiques. En effet, les températures dans ce type d'écosystème, changent entre la nuit et le jour d'une manière très importante.

3.3. Croissance à différentes valeurs de pH

Les résultats de ce test sont représentés par le tableau 7.

Tableau 7 : Test de croissance des souches actinomycètes à différents pH.

Souches	pH				
	4.5	6.2	7.2	8	9
S S	+	+	+	+	+
S 4	+	+	+	+	+
S 5	+	+	+	+	+
Sel 5	+	+	+	+	-
Sel 4	+	+	+	+	+
S 15	+	+	+	+	+
S 7	+	+	+	+	+
SP2	+	+	+	+	+

(-) pas de croissance, (+) croissance.

Les actinomycètes préfèrent généralement les pH neutres ou légèrement alcalin. Nos souches poussent dans un intervalle de pH allant de 4,5 à 9 ce résultat montre clairement que ces actinomycètes tolèrent les pH acides, neutres et basiques. Cette caractéristique inhabituelle chez les actinomycètes attirent notre attention et méritent des recherches particulières. Les échantillons qui proviennent des sols arides de la région étudiée, offrent donc des actinomycètes possédant des caractères physiologiques uniques.

4. Caractérisation morphologique des actinomycètes

Afin d'apporter des informations supplémentaires qui peuvent contribuer à l'identification de nos isolats d'actinomycètes. Une caractérisation morphologique a été réalisée. Cette étude a pour but la détermination de la morphologie du mycélium, sa fragmentation ou non ainsi que d'autres caractéristiques morphologiques spéciales, comme la présence de sporange ou de conidies etc.

Les résultats de l'observation des lamelles sous microscope optique aux grossissements (G x 40) sont présentés dans les photographies qui suivent:



(a)



(b)

Photographie 2 : Photographies des mycéliums de souche Sel 4 au grossissement (x40),

(a) mycélium aérien, (b) mycélium du substrat.



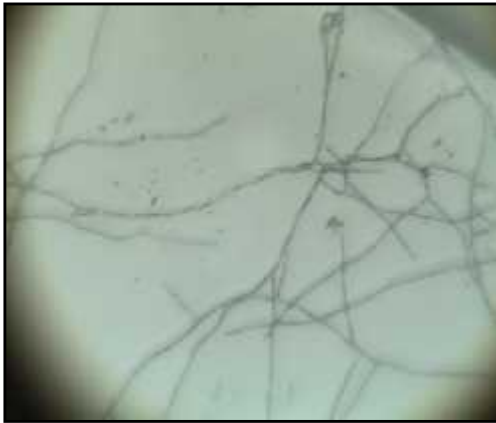
(c)



(d)

Photographie 3 : Photographies des mycéliums de souche S 7 au grossissement (x40),

(c) mycélium aérien, (d) mycélium du substrat.

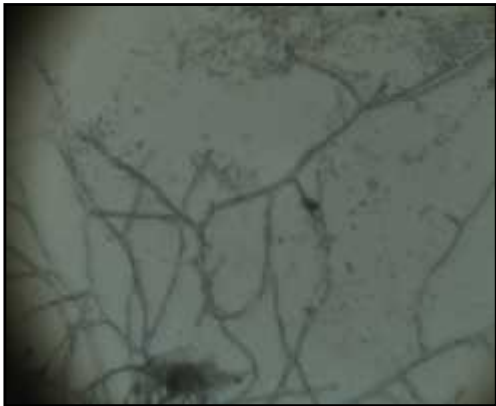


(e)



(f)

Photographie 4 : Photographies des mycéliums de souche Sel 5 au grossissement (x40),
(d) mycélium aérien, (f) mycélium du substrat.



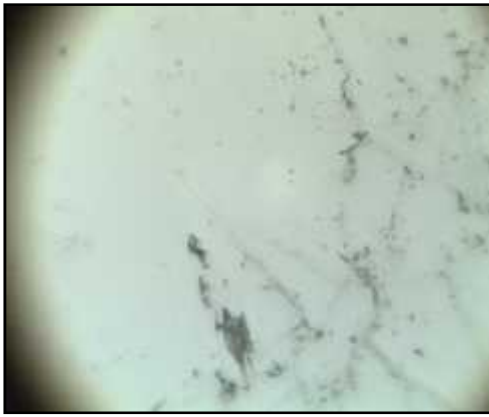
(g)



(h)

Photographie 5 : Photographies des mycéliums de souche S 4 au grossissement (x40),
(g) mycélium aérien, (h) mycélium du substrat.

Les observations précédentes indiquent que les filaments des mycéliums de substrat (MS) et des mycéliums aérien (MA) des souches Sel 4, S7, Sel 5, S 4 sont des filaments fragmentés, cloisonnés portant des chaînes de spores supérieures à 25 spores. Ce type de mycélium est selon la classification de Bergey's caractéristique du genre *Streptomyces*.

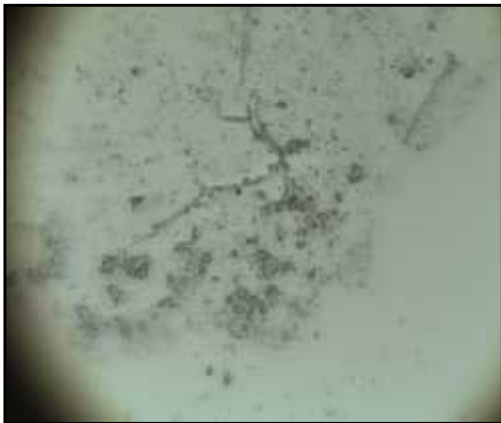


(i)



(j)

Photographie 6 : Photographies des mycéliums de souche SS au grossissement (x40),
(i) mycélium aérien, (j) mycélium du substrat.



(k)



(l)

Photographie 7: Photographies des mycéliums de souche SP2 au grossissement (x40),
(k) mycélium aérien, (l) mycélium du substrat.



(m)

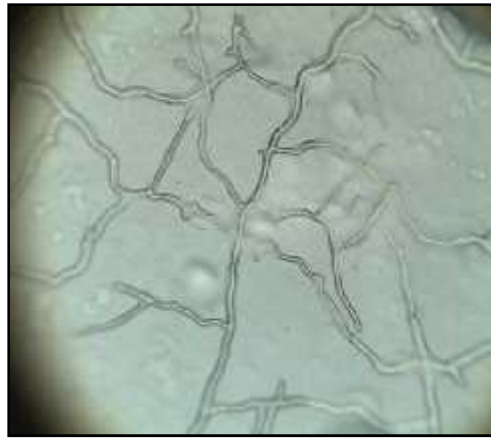


(n)

Photographie 8 : Photographies des mycéliums de souche S15 au grossissement (x40),
(m) mycélium aérien, (n) mycélium du substrat.



(o)



(p)

Photographie 9 : Photographies des mycéliums de souche S 5 au grossissement (x40),

(o) mycélium aérien, (p) mycélium du substrat.

Les aspects microscopiques des isolats S 5, S 15, SP2 et SS ne ressemblent à aucun des schémas répertoriés dans le Bergey's manuel et sont par conséquent non identifiés par cette technique **Holt *et al.*, 1994**. Pour ces isolats, d'autres techniques plus poussées comme les outils moléculaires sont nécessaires afin de les identifier.

Sommaire

Introduction

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Le sol aride

- 1. Définition du sol aride.**
- 2. Les caractéristiques écologiques.**
- 3. Les caractéristiques microbiologiques**

II. Les actinomycètes

- 1. Caractéristiques générales des actinomycètes.**
- 2. Morphologie.**
- 3. Physiologie.**
- 4. Caractères chimiques.**
- 5. Taxonomie.**
- 6. Détermination des genres et des espèces.**
- 7. Mode de reproduction.**
- 8. Ecologie des actinomycètes et distribution dans la nature.**
- 9. Biodégradation de la matière organique**

MATERIEL ET METHODES

- 1. Revivification des souches d'actinomycètes.**
- 2. Caractérisation macroscopique des isolats d'actinomycètes**
- 3. Effet de quelques facteurs physiologiques sur la croissance des isolats d'actinomycètes**
- 4. Caractérisation morphologique des actinomycètes.**

RESULTATS ET DISCUSSION

- 1. Revivification des souches d'actinomycètes**
- 2. Caractérisation macroscopique des isolats d'actinomycètes**

3. Détermination de l'effet de quelques caractères physiologiques sur la croissance des isolats d'actinomycètes

4. Caractérisation morphologique des actinomycètes

Conclusion

Références bibliographiques

Résumé

Annexe

Table de matières

Introduction.....	1
--------------------------	----------

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Le sol aride.....	3
1. Définition du sol aride.....	3
2. Les caractéristiques écologiques	3
3. Les caractéristiques microbiologiques.....	4
II. Les actinomycètes.....	6
1. Caractéristiques générales des actinomycètes.....	6
2. Morphologie.....	6
3. Physiologie.....	7
4. Caractères chimiques.....	8
5. Taxonomie.....	9
6. Détermination des genres et des espèces.....	12
6.1. Caractères morphologiques.....	12
6.2. Caractères chimiotauxonomiques.....	12
6.3. Les acides nucléiques.....	12
7. Mode de reproduction.....	12
8. Ecologie des actinomycètes et distribution dans la nature	15
8.1. Les actinomycètes dans les sols	15
8.2. les actinomycètes dans les milieux marins.....	15
8.3. Les actinomycètes dans les eaux douces.....	16
8.4. Les actinomycètes dans l'air.....	16
8.5. Les actinomycètes dans les compostes.....	16
9. Importance des actinomycètes dans les différentes industrie.....	16
9.1. Dans la production des antibiotiques.....	17
9.1.1. Tétracycline.....	17

9.1.2. Pénicilline.....	17
9.1.3. Fattiviracins.....	18
9.2. Dans la production des enzymes	18
9.2.1. Les ligninases.....	18
9.2.2. Les pecinases.....	19
9.2.3. Les amylases	19
9.2.4. Les xylanases	19
10. Biodégradation de la matière organique.....	20
10.1. Minéralisation primaire.....	20
10.3. Minéralisation secondaire.....	22

MATERIEL ET METHODES

1. Revivification des souches d'actinomycètes.....	23
2. Caractérisation macroscopique des isolats d'actinomycètes.....	23
3. L'effet de quelque facteurs physiologiques sur les croissances des isolats d'actinomycètes.....	23
3.1. Effet de la température sur la croissance des souches.....	23
3.2. Effet du chlorure de sodium sur la croissance des isolats d'actinomycètes.....	23
3.3. Effet du pH sur la croissance des isolats.....	24
4. Caractérisation de la morphologie des actinomycètes.....	24
4.1. Technique de culture sur lamelle.....	24

RESULTETS ET DISCUSSION

1. Revivification des souches d'actinomycètes.....	26
2. Caractérisation macroscopique des isolats d'actinomycètes.....	26
3. Détermination de l'effet de quelques caractères physiologiques sur la croissance des isolats d'actinomycètes.....	27
3.1. Tolérance au chlorure de sodium.....	27
3.2. Croissance à différentes valeurs de températures.....	29
3.3. Croissance à différentes valeurs de pH.....	30
4. Caractérisation morphologique des actinomycètes.....	31
Conclusion et perspectives.....	35

Références bibliographiques.....36

Résumé

Abstract

Annexe

Annexe**Amidon caséine :**

Amidon soluble.....	10g
Caseine.....	1g
Agar.....	20g
K ₂ HPO ₄	0.5g
Eau distillée.....	1000ml
Ph=	7-7.5

ISP 1: International *Streptomyces* Project

Tryptone.....	5g
Extrait de levure.....	3g
Agar.....	15g
Eau distillée.....	1000ml
Ph=	7.2

ISP7: International *Streptomyces* Project

Agar.....	20g
FeSO ₄ 7H ₂ O.....	0.01g
Glycérol.....	15g
K ₂ HPO ₄	0.5
L-tyrosine.....	0.5g
L-Asparagine.....	1g
MgSO ₄ 7H ₂ O.....	0.8g
NaCl.....	0.5g
Solution d'oligo-élément.....	1ml
• FeSO ₄ 7H ₂ O.....	0.1g

- $MnCl_2 \cdot 4H_2O$0.1g
- $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$0.1g
- Eau distillée.....100ml

Eau distillée.....1000ml

Ph = 7.2

Groupe 20



Groupe 22

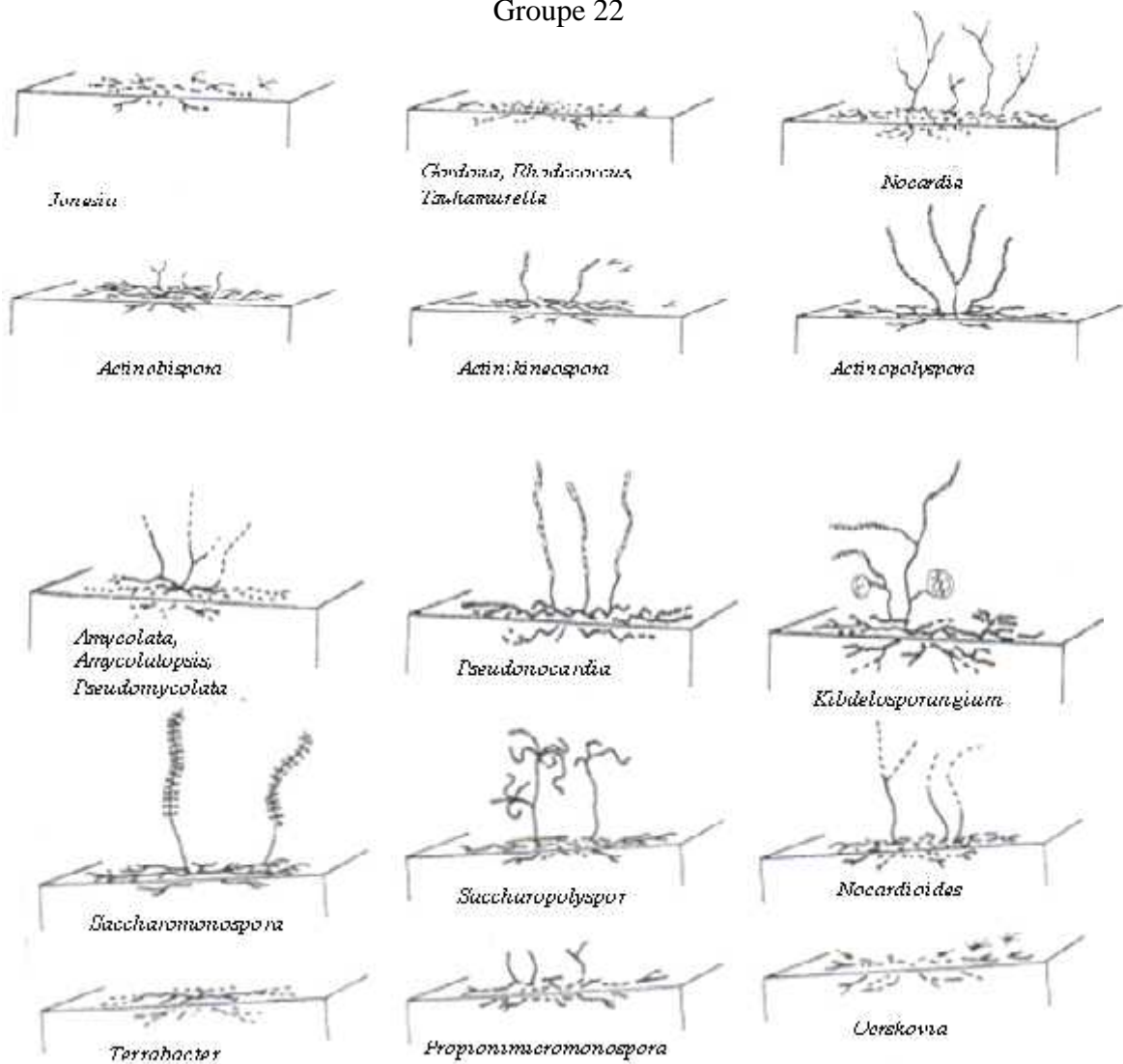
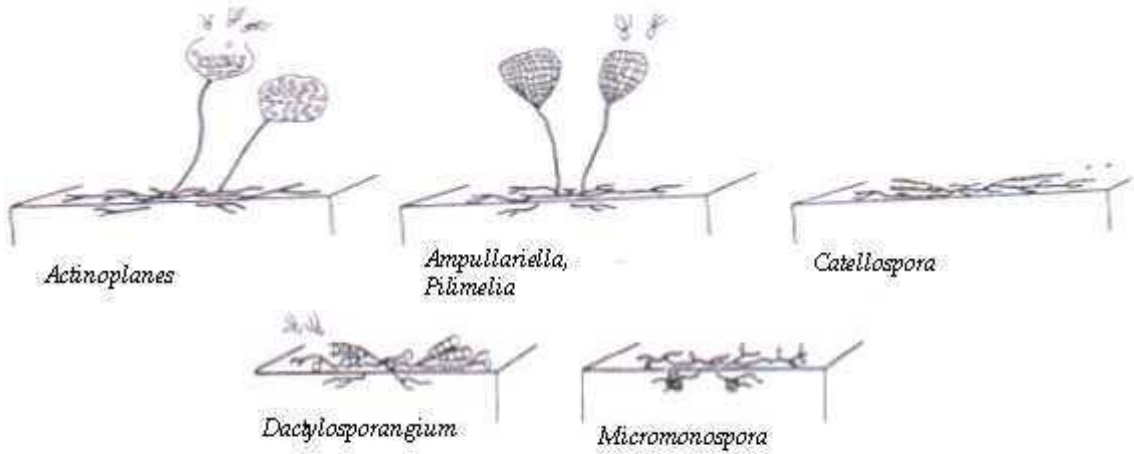


Figure: les schémas édités dans la 9^{ème} publiés dans le Bergey's manual of determinative bacteriology

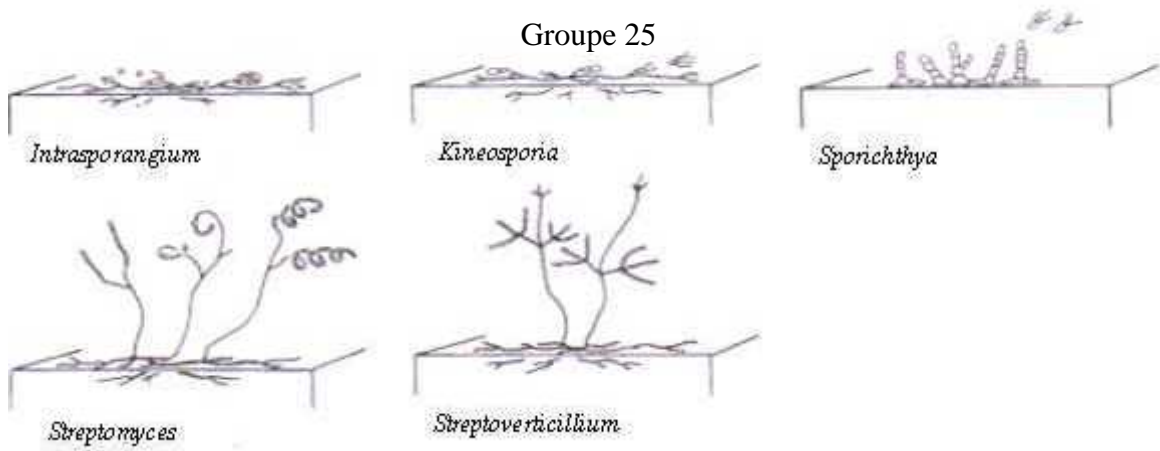
Groupe 23



Groupe 24



Groupe 25



Groupe 26

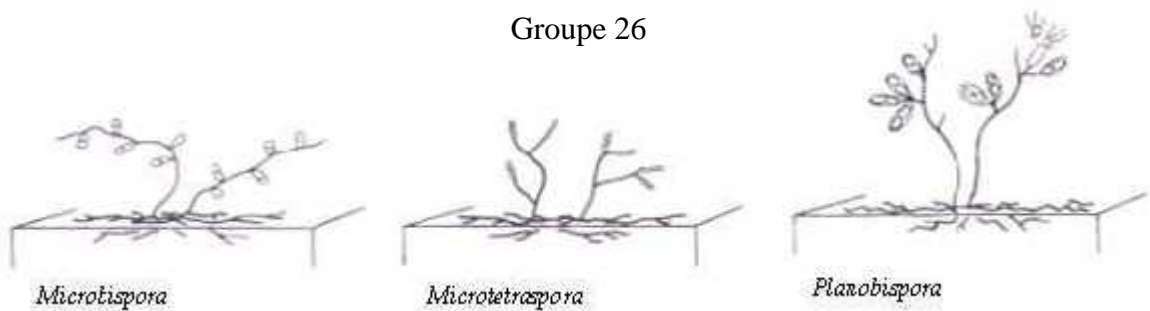
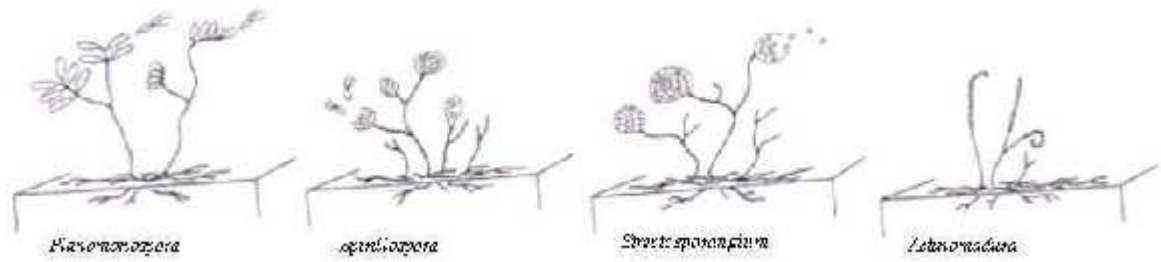
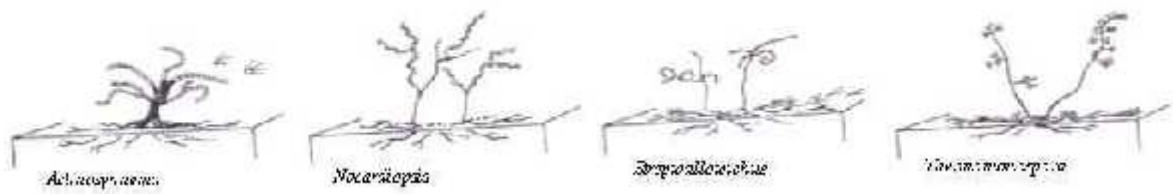


Figure (suite): les schémas édités dans la 9^{ème} publiés dans le Bergey's manual of determinative bacteriology

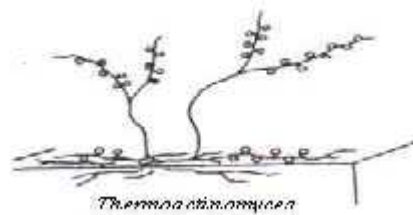
Groupe 26 (suite).



Groupe 27



Groupe 28



Groupe 29

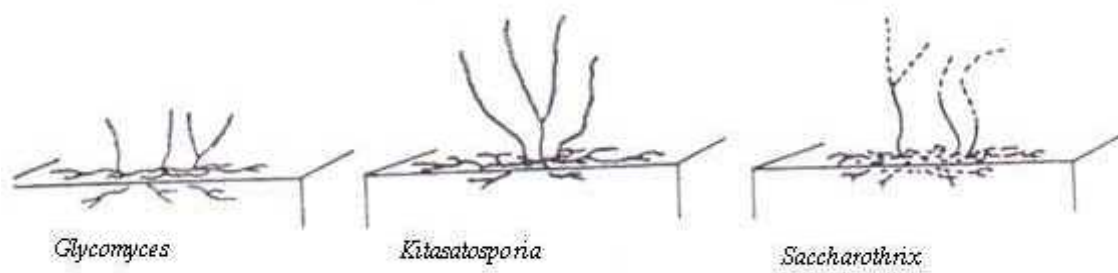


Figure (suite): les schémas édités dans la 9^{ème} publiés dans le Bergey's manual of determinative bacteriology

-A-

- **Aubert G., 1960.** Les sols de la zone aride, projet majeur relatif aux recherches scientifique sur les terres arides, N° 5. Paris. **1- 2 p.**
- **Avril J.L., Daberna H., Denis F. et Monteil H. 1992.** Bactériologie Clinique. Seconde édition, Marketing, Paris. **490-498 p.**

-B-

- **Ben Ameer Mehdi, Sioud S., Ben Feguir L., Bejar S. et Mellouli L., 2006.** Purification and structure determination of four bioactive molecules from a newly isolated *Streptomyces sp.* TN 97 strain. Process biochemistry, **41: 1506- 1513 p.**
- **Berthelin J, 1999.** Microbiologie. DEA National de Science du Sol. INA, Paris, **237p.**
- **Boudemagh, A. 2007.** Isolement, à partir des sols Sahariens, de bactéries actinomycétales productrices de molécules antifongiques, identification moléculaire de souches actives. Thèse de Doctorat en Microbiologie Appliquée. Université Mentouri Constantine. Algérie. **132 p.**

-C-

- **Chun J., Youn H. D., Yim Y. I., Lee H., Kim. M. Y., Hah Y.C. et Kang S.O., 1997.** *Streptomyces seoulensis* sp. Nov. Int., *J. Syst. Bacteriol.* **47, 492-498p.**
- **Clement. M et Lozet. J, 2011.** Dictionnaire encyclopédique de science du sol.

-D-

- **Dassarma S., et Arora P., 2001.** Halophiles in Encyclopedia of life sciences. London, Nature Publishing Group, **8, 458- 466 p.**
- **Davies F. L, Williams ST. 1970.** Studies on the ecology of actinomycetes in soil. The occurrence and distribution of actinomycetes in a pine forest soil. *Soil Biochem.* **2: 227-238.**
- **Demain A.L., et Salomon N.A., 1985.** **Manual of industrial microbiology and biotechnology.** American Society for Microbiology Press, Washington.
- **Demain A.L., 2000.** Small bugs, big business: the economic power of the microbe. *Biotechnol Adv*, **18(6): 499-514 p.**
- **Dommergues. Y et Mangenot. F, 1970.** Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie Editeurs, paris ,**796 p.**
- **Duchaufour PH., 2001.** Introduction à la science du sol. 6ème édition de l'abrégé de pédologie. Dunod. Ed. Masson. Paris. **314p.**

-E-

- **Ensign J.C. 1978.** Formation, properties and germination of actinomycetes spores. *Annus. Rev. Microbiol.* **Vol 32, 185- 219 p.**
- **Ensign J.C., Normand P., Burden J.P. et Yallop C.A. 1993.** Physiology of some actinomycetes genera. *Rev. Microbiol.* **Vol 144, 657- 660 p.**

-G-

- **Galinski E. A., 1995.** Osmoadaptation in bacteria. *Adv Microb Physiol.* **Vol: 37. 273– 328 p.**
- **Gobat J., Arango M., Mathey W., 2003.** Le sol vivant, base de pédologie, biologie des sols, **568 p.**

- **Goodfellow, M. ET O'Donnell A. G. 1989.** Search and discovery of industrially-significant actinomycetes. Proceeding of the 44th Symposium on Society for General Microbiology, (SCGM'89). Cambridge University Press, Cambridge. **343-383p.**

- **Goodfellow, M. et Williams S. T., 1983.** Ecology of the actinomycetes. *Annu. Rev. Microbiol.* **37: 189-216 p.**

- **Gottlieb D., 1973.** Général consideration and implication of the actinomycetales. In actinomycetales characteristics and practical importance. Edited by G. Sykes and F. A. Skinner. Academic press, london, New York.

-H-

- **Holt J.G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Staley J.T. et Williams S.T. 1994** Bergey's Manual of Determinative Bacteriology.

- **Horinouchi S., 2002.** Antimicrobial hormone, A-factor, as a master switch for morphological differentiation and secondary metabolism in *Streptomyces griseus*. *Frontiers in Biosciences.* **7: 2045-2057 p.**

-K-

- **Khokhlov A.S. 1986.** Actinomycete autoregulators. In : Biological, biochemical and biomedical aspects of actinomycetes. Eds : G. Szabo S. Biro M. Goodfellow. Akademiai kiado, Budapest. **791-798 p.**

- **Kirk O., Dmhus T., Borchert TV., Fuglsang CC., 2005.** Enzyme applications industrial in: seldel A(Ed)-Kirk-Othmer. encyclopedia of chemical technology. 5th edition, *New-York.Wilet- Interscience.* **248(10), 317-898 p.**

- **Kuster E. 1968.** The actinomycetes. In: Soil Biology, eds. Burges (A.) & Raw (F.), Academic Press, London. **pp. 111-124.**

-L-

- **Lacey J. 1973.** Actinomycetales: Characteristics and Practical importance. Edited by G. Sykes and F. Skinner. The Society for Applied Bacteriology Symposium Series. Academic Press London- New York, **p. 2.**

- **Lacey J., 1997.** Actinomycetes in composts. *Ann. Agric. Environ. Med.***4 :113–121 p.**

- **Larpent J. P. et Larpent-Gourgaud M., 1985.** Manuel pratique de microbiologie. Hermann. Paris, **157-162 p.**

- **Larpent J. P. et Sanglier JJ., 1989.** Biotechnologie des antibiotiques. Ed. Masson. Paris, **481 p.**

- **Lefebvre O., 2005.** Application des micro-organismes halophiles au traitement des effluents industriels hypersalins. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. **271 p.**

- **Leminor L., Veron M., 1989.** Bacteriologie médicale. 2 ème édition. **335-349 p.**- **Liu Z., Shi Y., Zhou Z., Li W., Huang Y., Rodrigue C. et Goodfellow M., 2005.** Classification of *Streptomyces griseus* (krainsky 1914) Waksman and Henrici 1948 and related species and the transfer of 'Microstreptosporacinerea' to the genus *Streptomyces* as *Streptomyces yaniisp.nov.* int. j. Syst. Evol. Microbiol, **55: 1605-4610 p.**

- **Locci R., 1976.** Developpement microbiologie of actinomycetes. in: actinomycetes. The boundary microorganisms. Arai T. Ed. Tokyo.**170- 180 P.**

-M-

- **Maier, R. M., I. L. Pepper ET C. P. Gerba. 2000.** Environmental microbiology, Microorganisms in surface soils. In. Acadimic press. A Harcourt sciencead technology company. Canada, **p. 79-82 p.**

- **Mariat F. et Sebaald M., 1990.** Les actinomycètes. Dans : Bactériologie médicale. Le minor edition Médecine-Science. Flamaron. France.

- **Mazodier J. 1974.** Sociétés industrielles et dechets solides. Sciences et Vie. **Vol 160: 109-115 p.**

- **Meftah H., 1988.** Influence d'un apport de litière de volailles et de fumier ovin en sol saharien nu et irrigué de la région d'Ouargla : dynamique du carbone et humification. Mémoire Ing, ITAS, Ouargla, **58 p.**

- **Mc Carthy AJ. et Williams ST., 1992.** Actinomycetes as agents of biodegradation.*Environm. review.* **115 (1-2), 189-192.**

- **Mc kinney R.E., 2004.** Environmental Pollution Control Microbiology. CRC Press : New York. **448p.**

- **Mincer T. L., Jensen P. R., Kauffman C. A. et Fenical W., 2002.** Widespread and persistent populations of a major new marine actinomycete taxon in ocean sediments. App. Environ. Microbiol. **68: 5005-5011p.**

- **Moncheva, P. Toshkov, S., Dimitrova, N., Chipeva, V., Antonova-Nikolova, S. and Bogatzevska, N., 2002.** Characteristics of soil actinomycetes from Antrantica. Journal of culture collections Eds. **3: 3-14p.**

- **Morel B., 1989.** Les sols cultivés. Tech et Doc .Lavoisier, paris, **272p.**

-N-

- **Nanjani S. G et Soni. H. P., 2011.** Isolation and characterization of extremely halotolerant and halophilic organisms from dwarka and veraval. Bioinformatica .**Vol: 1. N°: 1. 1-15 p.**

- **Niraula N.P., Shrestha P., Oh T.J. et Sohng J.K. 2010.** Identification and characterization of a NADH oxidoreductase involved in phenylacetic acid degradation pathway from *Streptomyces peucetius*. *Microbiol Res*,**165(8): 649–56 p.**

-O-

- **Okami, Y., Hotta, K. 1988.** Search and discovery of new antibiotics. In: Goodfellow M, Williams ST, Mordarski M, editors. Actinomycetes in biotechnology. New York: *Academic Press, Inc.***33-67 p.**

- **Omura S., 1992.** Trends in the search for bioactive microbial metabolites. *J. ind. Microbiol.*, **10, 135-156 p.**

- **Oren A., 1999 (a).** Bioenergetic aspects of halophilism. *Microbiol Mol Biol Rev.* **Vol: 63. 334–348 p.**

- **Oren A., 1999 (b).** The enigma of square and triangular bacteria. In: Seckbach J (Ed.), *Enigmatic Microorganisms and Life in Extreme Environmental Habitats*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. **337– 355 p.**
- **Oren. A., 2002.** Diversity of halophilic microorganisms: Environments, phylogeny, physiology, and applications. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. **Vol : 28, 56–63 p.**
- **Oren A., 2006.** Life at high salt concentrations. In: Dworkin M, S Falkow, E Rosenberg, K-H Schleifer and E Stackebrandt (Eds.). *The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications*. 3rd ed. Springer –Verlag: New York. Saline Systems. **262-283 p.**
- **Osada H., 1998.** Bioprobes for investigating mammalian cell cycle control. *J. Antibiot.* **51: 973-981 p.**
- **Oustani M., 2006.** Contribution à l'étude de l'influence des amendements organique (fumier de volailles et fumier de bovins) sur l'amélioration des propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions sahariennes (cas d'ouargla). mémoire de magistère, université d'Ouargla, **187 p.**
- P-**
- **Petrosyan P., GarciaVarela M., Luz-Madriral A., Huitron C. et Flores M. E., 2003.** *Streptomyces mexicanus* sp. nov., a xylanolytic micro-organism isolated from soil. *Int. J. Sys. Ev. Microbiol.*, **53. 269-273 p.**
- **Porter JN., 1971.** Prevalence and distribution of antibiotic-production actinomycetes. *Adv. Appl. Microbiol.* **14: 561-564 p.**
- R-**
- **Rangaswami G., Bagyaraj D. J. et Bagyaraj D.G., 2004.** *Agricultural Microbiology*. PHI : New Delhi. **440 p.**
- **Reponen T.A., Gazonko S.V., Grinshpun S.A., Willeke K. and Cole E.C., 1998.** Characteristics of airborne actinomycetes spores. *Appl. Environm. Microbiol.* **64**, 3807-3812.
- **Roger P. et Garcia J.L., 2001.** Introduction à la microbiologie du sol. Marseille : Université de Provence. **193 p.**
- S-**
- **Sabaou N., Boudjella H., Bennadji H., Mostefaoui A., Zitouni A., Lamari L. et Bennadji H., 1998.** Les sols des oasis du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotiques. *Sécheresse*. Editions John Libbey. Eurotext, Montrouge, **Vol 9, N02. 147-153 p.**
- **Sandhya. G. Nanjani & Harsha P. Soni. 2011.** Isolation and characterization of extremely halotolerant and halophilic organisms from dwarka and veraval. *Bioinformatica*. **Vol:1. N°1 1-15 p.**
- **Sanglier J.J. et Trujill M., 1977.** Substances bioactives produites par les actinomycetes, strategie de selection de souches. *Bull.Soc.Fr. Microbiol.* **12(3), 269-276 p.**
- **Sanglier J.J, Haag h., Huck T.A. et Fehr T., 1993.** Novel bioactive compounds from actinomycetes. *Res. Microbiol.* **144, 661-663 P.**
- **Sasson A., 1967.** Recherches écophysiological sur la flore bactérienne de sol des régions du Maroc. *Série Botanique et Biologie Végétale. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien et de la Faculté des Sciences, Rabat, N° 30 : 27-55 p.*

- **Shirling E.B. et Gottlieb D., 1966.** Methods for caractérisation of *streptomyces* species. *Int. J. Sys. Bacteriol*, **16 (3) : 313-340 p.**
- **Smaoui S., 2010.** Purification et Caractérisation de Biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, (France). **251 p.**
- **Soltner D., 2005.** Les bases de la production végétale. Le sol et son amélioration. Tome I, 24emè édition ; collection Sciences et techniques agricoles.
- **Song J., Weon H.Y., Yoon S.H., Parrk D.S., Go S.G. et Suh J. W., 2001.** Phylogenetic diversity of thermophilic actinomycetes and *Thermoactinimycetes* isolated from mushroom composts in Korea based on 16S rRNA gene sequence analysis. *FEMS Microbiol Lett*, **202(1): 97–102p.**
- **Suzuki K., Nagai K., Shimizu Y. et Suzuki Y., 1994.** Search for actinomycetes in screening for new bioactive compound. *Actinomycetologica*, **8, 122–127 p.**
- T-
- **Tang S. K., LI. W. J. Dong. W., Zhang Y., Xu L. et Jiang. C. L., 2003.** Studies of the biological characteristics of some halophilic and halotolerant Actinomycetes isolated from saline and alkaline soils. *Actinomycetologica*, **17 (1), 06–10 p.**
- **Tsujibo H., Kubota T., Yamamoto M., Miyamoto K. et Inamori Y., 2005.** Characteristics of chitinase genes from an alkaliphilic actinomycete, *Nocardiosis prasina* OPC-131. *Appl. Environ. Microbiol.* **69: 894- 900 p.**
- U-
- **Uyeda M., 2003.** Metabolites produced by actinomycetes--antiviral antibiotics and enzyme inhibitors. *Yakugaku Zasshi.* Vol: **124.** Pp: **469-479 p.**
- _W_
- **Waksman S.A., 1959.** The actinomycetes : nature, occurrence and activities, Williams and Wilkins. Company, Baltimore. **1, 29-46 p.**
- **Wang L., huang. Y., Liu Z., Goodfellow M. et rodriguez C., 2006.** *Sreptacidiphilus oryzae sp. nov.* an actinomycete isolated from rice-field soil in Thailand. *In. J. Sys. Ev. Microbiol.* Vol **56.** **1257-1261 p.**
- **Watve M.G., Tikkoo r., M.M., Bhole B.D., 2001.** How many antibiotics are produced by the genus sreptomyces? *Achieves of microbiology*, **176: 386- 390.**
- **Weyland H., 1981.** Distribution of actinomycetes on the sea floor. In: *Actinomycetes.* Eds : K. Schaal, G. Pulverer. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York. *Zbl. Bakt. Suppl.* **11, 185-193.**
- **Wild A., 1993.** Soils and environment. An introduction, In. Cambridge price editions. Cambridge University press, Cambridge. **281 p.**
- **Williams S.T. et Cross T., 1971.** Méthods in microbiology. Academic press, londre. **4 :295-334 p.**
- **Williams, S. T. et Wellington E., 1982.** Actinomycetes. *In Methodes of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Agronomy monograph N°. 9 (Second Edition). Ed., A. L. Madison. **969-987 p.**
- **Williams S.T., Lanning S. et Wellington E.M.H., 1984.** Ecology of Actinomycetes. In: *The Biology of the Actinomycetes.* Eds : M. Goodfellow, M. Mordarski et S.T. Williams. Academic press, London, New York, Sydney, Tokyo, Sao Paulo. **481-528 p.**

- **Williams S.T, Goodfellow M. et Alderson G., 1989.** Genus *Streptomyces* Waksman and Henrici 1943. In “Bergeys manual of systematic bacteriology. Williams S.T., Sharpe M.E., Holt J.P. Baltimore: Williams and Wilkins. **Vol 4 ed. 2452-2492 p**

- **Williams S. T., Locci R., Beswick A., Kurtboke D. I., Kuznetsov V. D., Le Monnier F. J., Long P. F., Maycroft K. A., Palma R. A., Petrolini B., Quaroni S., Todd J. I. et West M., 1993.** Detection and identification of novel actinomycetes. *Res Microbiol*, 144(8): 653–656..

-Z-

- **Zvyagintsev D. G., Zenova G. M., Sudnizin I. I. et Doroshenko E. A., 2005.** The Ability of Soil Actinomycetes to Develop at an Extremely Low Humidity. **Vol : 405. 461-463 p.**

-**Zaitlin B., Watson S.b., Ridal J., Satchwill T., Parkinson D., 2003.** Actinomycetes in lake Ontario: Habitats and geosmin and MIB production. *Res J Can*, **95 (2) : 113-118 p.**

Site électronique

- <http://www.dijon.inra.fr/plateforme.Genesol>.

تمت دراسة التنوع الفيزيولوجي و المورفولوجي على مجموعة من 8 اكتينومييسات معزولة من التربة الصحراوية بجنوب الجزائر. بعد إحياء هذه السلالات في وسط نشاء الكازين, قمنا باختبار قدرتها على , درجة الحموضة و تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم. 62%

ر ها 6 رجة مئوية إلى 60 درجة مئوية, 25 رجة مئوية 4S , 7S , 2SP, 55 درجة مئوية 60 رجة مئوية 15S , 5eS1 . ت تعيش في حرارة مرتفعة.

4,5 9 , وهي مطيقة لجميع درجات الملوحة, 5S 5S مطيقة لملوحة عالية, 5SEL 7S مطيقة لملوحة معتدلة و مطيقة لملوحة منخفضة. دراسة الخصائص الشكلية لسلالات سمحت لنا بتمييز و ضم السلالات 4S , 4Se1 , 5Se1 4S . *Streptomyces*

الكلمات المفتاحية: اكتينومييسات, مطيقة للملوحة, التربة الصحراوية.

Abstract

On a collection of isolated actinomycetes isolates desert soils of southern Algeria physiological and morphological studies were studied. After the revival of the strains on the environment casein starch, we tested their ability to grow at temperatures, pH and different concentrations of NaCl. 62% of the strains grow to very wide temperature ranges of from 6 ° C to 60 ° C, with an optimum of 25 ° C for strains S4, S7 and SP2 and 55 ° C to 60 ° C for isolates Salt 5, S 15. The majority of our strains are thermophilic. Our Actinomycetes thrive in a pH range of 4.5 to 9. They tolerate any significant concentrations of NaCl. So these are salt tolerant. Among them S5 and SS isolates are extreme salt tolerant, S7 and SEL 5 are moderate salt tolerant and salt tolerant rest are light. The study of morphological characters allowed us to characterize and assign stem Salt 4, S7, Salt 5 and S 4 to the genus *Streptomyces*.

Keywords: Actinomycetes, thermophilic, salt tolerant, desert soil.