

Abréviations

CIC	: Conseil international des céréales
CPVQ	: Conseil des Productivités Végétales du Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
DRX	: Diffractométrie de rayons X.
EPA	: Environmental Protection Agency
FAO	: <u>Food and Agriculture Organization</u> of the United Nations
FDA	: Food and Drug Administration
MO	: Matière organique
Mt	: Millions de tonnes
NAR	: Nitrate réductase
NIR	: Nitrite réductase
Nod	: Nodulation
NOR	: Oxyde nitrique réductase
OGM	: Organismes génétiquement modifiés
OMS	: Organisation mondiale de la santé.
RFID	: Radio Frequency identification
USDA	: United States Department of agriculture
APG	: Angiosperm Phylogeny Group

Liste des figures

Figure 1 : Le triangle des textures des sols. (RICHER *et al.*, 2008)

Figure 2: Fixation des ions sur le complexe argilo-humique (INRA, 2001).

Figure 3: Mise en place d'une nodosité sur une racine de légumineuse.

Figure 4: Exemple typique de phyllode d'*Acacia*

Figure 5 : Illustration des épines ou aiguillons chez *Acacia* (FAO, 1980).

Figure 6 : Aire de répartition du genre *Acacia* dans le monde en rouge

Figure 7 : Photo de la bactérie *Nitrosomonas europaea* au microscope électronique.

Figure 8 : Photo de la bactérie *Nitrobacter* au microscope électronique.

Figure 9 : Le cycle de l'azote (INRA, 2012)

Figure 10: Carte de localisation de la zone d'étude de Ouled Boudjema (en rouge) (Google MAP).

Figure 11 : Les variations du pH des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

Figure 12 : Les pourcentages du calcaire total des échantillons du sol, argile usée et vierge.

Figure 13 : Les pourcentages d'humidité des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

Figure 14 : La conductivité électrique des échantillons sol, argile usée et vierge.

Figure 15 : Les pourcentages du Na^+ des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

Figure 16 : Les taux du calcium des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

Figure 17 : Les taux du magnésium des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

Figure 18 : Les pourcentages de matière organique des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

Figure 19 : Analyse granulométrique du sol.

Figure 20: Analyse de la DRX de la terre décolorante vierge (en noir) et usée (en rouge).

Figure 21 : La moyenne de la biomasse par rapport au pourcentage d'argile usée *In Vitro*.

Figure 22 : La moyenne de la biomasse par rapport au pourcentage d'argile usée *In Vivo*.

Figure 23: Croissance des plantes dans le mélange 75%Sol - 25%Argile usée *In Vitro* (37 jours).

Figure 24: Croissance des plantes dans le mélange 75%Sol - 25%Argile usée *In Vivo* (29 jours).

Figure 25 : Les taux des métaux lourds des échantillons du sol, argile usée et vierge.

Figure 26 : Les pourcentages d'azote total des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

Figure 27 : Croissance des bactéries du mélange 75%sol-25%argile (dilution 10^{-6})

Figure 28 : Croissance des bactéries du sol de Ouled Boudjema (dilution 10^{-6})

Figure 29 : Croissance des souches bactériennes S10, S14 et S24 sur milieu YEM après 48h.

Figure 30 : Coloration de Gram des souches S10, S14 et S24 au microscope optique (Grossissement $\times 1200$).

Figure 31 : Croissance des plantes d'*Acacia saligna* inoculées par la souche S10, S14 et S24 *In Vitro* (30 jours).

Figure 32 : Croissance des plantes d'*Acacia saligna* inoculées par la souche S14 *In Vivo* (60 jours).

Figure 33 : Nodulation de l'*Acacia saligna* par la souche S10, S14 et S24 (60 jours).

Figure 34 : Histogramme de la moyenne de la biomasse d'*Acacia saligna* par rapport aux souches S10, S14 et S24 *In Vivo*.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes texturales du sol en pourcentages (USDA)

Tableau 2 : Classification des acacias de BENTHAM 1875 à MASLIN *et al.*, 2003.

Tableau 3 : Caractéristique des bactéries nitrifiantes (PRESCOTT *et al.*, 2003)

Tableau 4 : La teneur moyenne en éléments fertilisants (Kg pour 1.000kg de fumier).

Tableau 5: La teneur des fumiers en matière organique, en phosphore, en potassium et en azote (Kg pour 1.000kg de fumier)

Tableau 6 : La teneur des différents engrais organiques en éléments nutritifs (azote N, phosphore P, potassium K₂, calcium Ca et matière organique MO).

Tableau 7 : Les différents composés du soja par 100g.

Tableau 8 : Précipitation en millimètre à Ain Témouchent durant la période 2005-2013.

Tableau 9 : Température en °C à Ain Témouchent durant la période 2005-2013.

Tableau 10 : Identification du genre et espèce des différentes souches S10, S14 et S24.

Tableau 11 : La moyenne des colonies bactériennes (UFC) des deux échantillons 100% sol, mélange 75% Sol-25% argile par rapport à la dilution.

Tableau 12 : Le nombre des nodules dans chaque pots par rapport aux souches S10, S14 et S24.

Table des matières

RESUME	14
INTRODUCTION GENERALE.....	17
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
1. Le sol.....	19
1.1. Définition et typologie.....	19
1.2. Formation des sols, facteurs écologiques.....	19
1.3. Fonctions du sol.....	21
1.4. La structure du sol.....	21
1.5. Les types de cations du sol.....	23
1.6. Les menaces pesant sur les sols.....	24
1.6.1. La dégradation physique.....	24
1.6.2. La dégradation chimique.....	25
2. Les légumineuses.....	25
2.1. Présentation.....	25
2.2. Caractéristiques.....	25
2.2.1. Fruit.....	25
2.2.2. Fleurs.....	26
2.2.3. Nodosités.....	26
2.2.3.1. Association Légumineuse – rhizobia.....	26
2.2.3.2. Processus de la nodulation.....	26
2.3. Classification.....	29
2.3.1. Papilionoïdées ou Papilionacées.....	29

2.3.2. Mimosoïdées ou Mimosacées.....	29
2.3.3. Césalpinioïdées ou Césalpiniacées.....	29
2.4. <i>Acacia</i>	30
2.4.1. L' <i>Acacia</i> en Algérie.....	30
2.4.2. Diversité du genre.....	30
2.4.3. Classifications de Bentham (1875) à Maslin et al. (2003).....	30
2.4.4. Caractéristiques et morphologie générale des <i>Acacia</i>	33
2.4.4.1. Feuilles et Phyllodes.....	33
2.4.4.2. Epines et aiguillons.....	34
2.4.5. Répartition des acacias dans le monde.....	34
3. LE CYCLE DE L'AZOTE.....	36
3.1. Définition.....	36
3.2. La fixation de l'azote dans le sol.....	36
3.3. Minéralisation de l'azote organique.....	37
3.3.1. Ammonification.....	37
3.3.2. Nitrification.....	37
3.3.2.1. Nitritation.....	38
3.3.2.2. Nitratation.....	38
3.3.3. La dénitrification.....	39
3.4. Les risques d'excès en azote.....	42
4. Les Engrais.....	42
4.1. Généralités.....	42
4.2. Les différents types d'engrais.....	44

4.2.1. Les engrais minéraux.....	44
4.2.2. Les engrais organiques.....	44
4.2.3. Les engrais biologiques	46
4.2.3.1. Les avantages des engrais verts.....	48
4.2.3.2. Les végétaux à utiliser comme engrais vert.....	49
4.3. L'application et usages des engrais.....	49
4.4. Production et consommation des engrais dans le monde.....	49
5. Le Soja.....	50
5.1. Présentation.....	50
5.2. Utilisation et composition.....	50
5.5. Le Soja génétiquement modifié.....	52

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

1. Matière première de l'huile végétale, les intrants et le protocole de raffinage.....	53
1.1. Démucilagination ou dégomme.....	53
1.2. La neutralisation.....	53
1.3. Le lavage.....	54
1.4. La décoloration.....	54
1.5. La vaporisation (ou désodorisation).....	54
2. Les différentes phases d'expérimentation.....	55
2.1. Description du site de Ouled Boudjema.....	55

2.2. Choix de l'espèce végétale utilisée.....	59
2.3. Echantillonnages.....	59
2.4. Analyses physico-chimiques	59
2.4.1. Analyses physiques.....	59
2.4.2. Analyses chimiques.....	59
3. Compostage et germination des graines.....	62
3.1. Préparation du composte.....	60
3.2. Germination des <i>Acacia saligna</i>	60
3.3. Protocole expérimental	60
3.3.1. Culture In Vitro	60
3.3.2 Culture In Vivo.....	60
4. Etude microbiologique	61
4.1. Etude microbiologique du sol de Ouled Boudjemaa et du mélange 25% argile usée – 75% sol	61
4.1.1. Echantillonnage.....	61
4.1.2. L'analyse quantitative (Dénombrement de la flore bactérienne)...	61
4.1.3. L'analyse qualitative (par coloration du Bleu de méthylène).....	61
4.2. Etude de la symbiose chez <i>Acacia saligna</i> en présence des souches bactériennes S10, S14, S24	62
4.2.1. Provenances des échantillons	62
4.2.2. Purification des souches bactériennes S10, S14 et S24.....	62
4.2.3. L'inoculation de l' <i>Acacia saligna</i> par les souches bactériennes S10, S14 et S24.....	63

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

1. L'analyse du pH.....	64
2. L'analyse du calcaire total.....	64
3. L'analyse de l'humidité.....	65
4. L'analyse de la conductivité.....	66
4.1. L'analyse du Sodium.....	66
4.2. L'analyse du Calcium.....	67
4.3. L'analyse du Magnésium.....	68
5. Matière organique.....	68
6. L'analyse granulométrique.....	69
7. L'analyse de la DRX (Diffraction de rayons X).....	70
8. L'expérimentation <i>In Vitro</i> et <i>In Vivo</i> du compost.....	71
9. L'analyse des métaux lourds.....	74
10. L'analyse de l'azote total.....	76
11. Etude microbiologique	76
11.1. Etude microbiologique du sol de Ouled Boudjemaa et le mélange 75%sol - 25% argile usée.....	76
11.1.1. L'analyse quantitative (Dénombrement).....	76
11.1.2. L'analyse qualitative.....	77
11.1.2.1. L'aspect macroscopique des bactéries.....	77
11.1.2.2. L'aspect microscopique des bactéries.....	78
11.2. . Etude de la symbiose chez <i>Acacia saligna</i> en présence des souches bactériennes S10, S14, S24	79
11.2.1. Purification des souches bactériennes S10, S14 et S24.....	79

11.2.2. Coloration de Gram.....	80
11.2.3. Résultats de l'inoculation des souches S10, S14 et S24 et croissance d' <i>Acacia saligna</i>	82
CONCLUSION GENERALE.....	90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	93
ANNEXES.....	101

RESUME

L'apport nutritionnel des plantes par un procédé de fertilisation naturel, alternatif à l'usage des engrais chimiques (dont l'agressivité et la non-durabilité vis-à-vis de l'environnement sont aujourd'hui notoirement démontrées), est un facteur souvent négligé dans la bioremédiation et revégétalisation des paysages naturels altérés par l'exploitation minière (carrières de sable et de concassage, mines d'extraction de gisements et l'industrie, plateformes de forage, remblais de travaux routiers et urbains, sites d'extraction de cimenterie). Plusieurs fonctions essentielles à la croissance d'une végétation nouvellement réinstallée ont besoin d'un apport suffisant en matière organique, en capacité d'échange cationique (CEC) définie par un complexe argilo-humique comportant calcium, magnésium, potassium, azote. Les carences nutritionnelles ont de graves conséquences sur la durée de vie et pérennité d'une végétation nouvellement installée essentiellement dans un paysage de sols remaniés. Dans le but de réhabiliter les sols dégradés localisés dans une ancienne carrière-sablière à Ouled Boudjemaâ dans la wilaya d'Aïn-Témouchent (Algérie), nous avons mené une étude expérimentale en chambre de culture (*In vitro*) et sur terrain (*In vivo*) pour la mise au point d'une nouvelle approche méthodologique utilisant un compost de fertilisation issu du recyclage des résidus de l'industrie des huiles de table et matières grasses. Ces déchets riches en matières organiques d'origine végétale comportent, par ailleurs, l'autre avantage de pouvoir apporter aux sols de ces carrières et mines, par le biais de l'argile contenue dans "La Terre décolorante" utilisée dans le processus de raffinage, un éventuel enrichissement en capacité d'échange cationique (CEC) qui fait, particulièrement, défaut dans ces sols minéralisés, car fortement dégradés. Nos résultats préliminaires résument quelques rôles essentiels que jouent ces résidus d'Argile de neutralisation et de raffinage dans les essais de développement des nouvelles plantations d'*Acacia saligna* (légumineuse originaire d'Australie choisie pour ses adaptations aux sols pauvres et xériques et sa qualité dans la fixation de l'azote atmosphérique après son incorporation dans les sols), qu'on a expérimenté et suivi en chambre de culture puis sur champs durant plusieurs mois afin d'évaluer les impacts de leur émission sur l'environnement (sols, nappes phréatiques, etc.) compte tenu de leur teneur en métaux lourds et éventuels autres contaminants.

Mots clés: Sol, Terre décolorante, *Acacia saligna*, Compost, Recyclage, Matière organique, Calcium, Magnésium, Potassium, Azote, Métaux lourds.

ABSTRACT

The nutrient intake of plants through a process of natural fertilization, alternative to the use of chemical fertilizers (whose aggressive and non-sustainable impact on the environment has now been demonstrated) is a factor often overlooked in bioremediation and revegetation endeavours concerning natural landscapes altered by mining operations (sand quarries and pit-crushing, mining extraction fields, and industrial works (oil rigs, road and urban work embankments and backfills, cement works extraction sites). Several functions essential to the growth of newly relocated vegetation need an adequate supply of organic matter in cation exchange capacity (CEC) defined by a clay-humus complex involving calcium, magnesium, potassium, nitrogen elements. Nutritional deficiencies have serious consequences on the life and survival of newly planted vegetation, especially on disturbed landscape and soil. In order to rehabilitate degraded land located in a former sand quarry located at Ouled Boudjema, Ain Témouchent Wilaya (Algeria), we conducted an experimental study in a culture chamber (in vitro) and on the field (in vivo) for the development of a new methodological approach using compost fertilizer from recycled residues from the Industry of edible oils and fats. Such waste which is rich in organic matter from plant origin has, in addition, the added benefit of allowing for the enrichment in terms of cation exchange capacity (CEC) of the soil from these quarries and mines through the clay contained in "The Bleaching Earth" used in the refining process; which is lacking, particularly in these mineralized and highly degraded soils. Our preliminary results come down to some key parts that these neutralization and refining clay residues play in the development attempts concerning new *Acacia saligna* plantations (legume originating from Australia which was chosen for its ability to adapt to poor and xeric soil as well as for its capacity to fix atmospheric nitrogen after its incorporation into the soil) which we have first subjected to experimental testing and monitoring in a culture chamber and then on the field for several months in order to assess the impact of their emission on the environment (soil, groundwater, etc ...) due to their content in heavy metals and other possible contaminants.

Keywords: Soil, Bleaching Earth, *Acacia saligna*, Compost, Recycling, Organic Matter, Calcium, Magnesium, Potassium, Nitrogen elements, Heavy metals.

الملخص

الإسهام الغذائي للنباتات قصد إخصاب الأرض طبيعياً بدلاً من استعمال الأسمدة الكيميائية (ذات تأثير سلبي و عدم ديمومتها بالنسبة للمحيط ثابتة اليوم) هو عامل غالباً مهمش في الإصلاح طبيعياً و إعادة نمو النبات بالأمكان الطبيعية التي أفسدت و أتلفت من جراء الإستغلال المنجمي (مقلعات رمال و التفتيت، مناجم إستخراج المعادن و الصناعية، مسطحات التتقيب، جشمت تراب ردم الطرقات و العمران، مواقع إستخراج الإسمنت) عدة وظائف ضرورية لنمو النباتات المغروسة حديثاً تحتاج إلى مساهمة كافية من المادة المكونة القادرة على التبادل الكاتيوني (ق.ت.ك.) محددة و معرفة بمركب طين- تربة عضوية تحتوي على كالسيوم، مغنيسيوم، بوتاسيوم، أزوت.

الفقر الغذائي له عواقب وخيمة على حياة و بقاء النباتات الحديثة الغرس خصوصاً بالمواقع و الأراضي المعالجة.

قصد إستصلاح الأراضي المفقمة المتواجدة بمقلع الرمال القديم بأولاد بوجمعة بولاية عين تموشنت (الجزائر) قمنا بدراسة تجريبية في بيئة إصطناعية (في مخبر) و في الميدان (في جهاز حي) لإعداد رؤية منهجية جديدة تستغل سماد عضوي مركب مستخرج من رسكلة الفضلات الصناعية لزبوت المائدة و المواد الدسمة.

تلك النفايات غنية من المواد العضوية من أصل نباتي و لها ميزة أخرى، بحيث يمكن لها تمتيع تربة تلك الحفر و المناجم بواسطة الطين المتواجدة في "التربة نازعة اللون" المستعملة في مرحلة التصفية إثراء محتمل في القدرة على التبادل الكاتيوني (ق.ت.ك.) الذي ينقص تلك التربة الممعدنة جد مفقمة.

نتائجنا الأولية تلخص بعض الأدوار الأساسية التي تلعبها نفايات طين تعطيل التأثير و التصفية في تجارب تنمية أكاسيا "صالينيا" (*Acacia saligna*) الحديثة الغرس (بقوليات التي مصدرها أستراليا تم إختيارها نظراً لتكيفها على التربة الفقيرة و الضعيفة و قدرتها على تخزين الأزوت البيئي بعد دمجها بالتربة) التي قمنا بتجريبها و متابعتها في المخبر ثم في البيئة الطبيعية عدة أشهر من أجل تقدير مدى تأثيرها على البيئة (تربة، مياه جوفية ألخ)

نظراً لإحتوائها على المعادن الثقيلة و احتمال وجود مؤثرات أخرى.

الكلمات المفتاحية:

تربة - تربة نازعة اللون - *Acacia saligna* - سماد -إعادة التدوير - المادة العضوية - كالسيوم- مغنيسيوم- بوتاسيوم- أزوت- المعادن الثقيلة.

INTRODUCTION GENERALE

La biodiversité correspond à l'ensemble de la diversité des organismes vivants. Elle englobe la faune qui désigne l'ensemble des espèces animales et les écosystèmes végétaux dans lesquels elles évoluent et se multiplient. Cette flore représentée par l'ensemble des espèces végétales présentes dans les milieux naturels en équilibre résulte des interactions multiples et multimillénaires du climat, du sol et de la biosphère.

Le sol est la partie superficielle de la croûte terrestre qui résulte de la transformation de la roche-mère sous l'action combinée des facteurs climatiques et des organismes vivants (BAVER et RHOADES, 1932).

La partie minérale représente l'ensemble des produits de la dégradation physique puis chimique de la roche mère. La partie organique est issue de l'humus, provenant de la décomposition des êtres vivants végétaux et animaux. Les mouvements de l'eau et de l'air figurent parmi les éléments essentiels à la qualité du sol et à son évolution. (AUBERT, 1963).

Le sol joue, par ailleurs, un rôle de filtre et de lieu de stockage de l'eau et des polluants et reste considéré comme le principal réservoir des microorganismes (champignons, bactéries et virus) de la rhizosphère. Ces microorganismes jouent des rôles cruciaux dans les cycles de la matière (carbone, azote, phosphore), ils sont donc indispensables à la vie sur Terre, pour leur rôle et efficacité dans la fertilité des sols et la qualité des productions alimentaires. (DIOME, 1996).

Des bactéries de la rhizosphère appelées Rhizobia, capables d'établir une interaction symbiotique avec des légumineuses participent à la formation des nodosités racinaires. Ces bactéries ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique via un complexe enzymatique, la nitrogénase. L'azote joue un rôle important dans la formation des biomolécules (protéines, acides nucléiques, vitamines...). Le manque d'azote minéral limite, quant à lui, souvent la croissance des plantes. (FREIBERG et al. 1997).

Un bénéfice réciproque où la plante fournit un abri et de l'énergie à son symbiote, tandis que celui-ci fixe l'azote à partir de l'atmosphère. Chaque

année, ces associations symbiotiques peuvent réduire 120 millions de tonnes d'azote atmosphérique en ammonium (FISCHER et al, 1996).

Pour le soutien d'une agriculture durable il est nécessaire de privilégier l'emploi des apports azotés biologiques qui ne participent pas à la contamination de l'environnement. Les Légumineuses associées à leur symbionte produisent autant d'azote que l'industrie mondiale des engrais (CRUTZEN et al, 2007).

Face à l'augmentation des déchets agro-industriels, le développement des technologies et filières de retraitement, poussé par l'évolution des réglementations et la prise de conscience écologique, a vu augmenter le taux de recyclage des résidus. L'émission des déchets agro-industriels, le plus souvent, dans le milieu naturel, pose un réel problème environnemental et sanitaire. Le recyclage des composts issus des déchets organiques est facilité du fait qu'ils sont biodégradables et peuvent se transformer rapidement. Des millions de tonnes de matière organique sont gâchés, des matières premières gaspillées et des substances dangereuses, parfois pour la santé humaine, comme les dioxines, les métaux lourds...etc, sont déversés dans des décharges publiques sans aucun contrôle, ni suivi. Ces substances dangereuses se concentrent dans l'environnement et peuvent contaminer les sols, les nappes phréatiques puis, d'une manière générale, l'ensemble de la chaîne alimentaire en engendrant de multiples problèmes de santé (ALLOWAY, 1995).

Par ailleurs, les problèmes des sols et paysages dégradés par les exploitations minières, pétrolières et les carrières d'extraction de granulats sont aujourd'hui très préoccupants. Le but subsidiaire de notre travail de recherche, en réaction de ce qui précède, est de rechercher la possibilité d'élaboration d'un compost de fertilisation utile à la revégétalisation de ces sites à partir du conditionnement contrôlé des déchets des agro-industries locales des huiles et matières grasses.

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Le sol

1.1. Définition et typologie

Le sol a été étudié par les Grecs et les Latins, puis par les agronomes andalous au Moyen Âge. La science des sols prit son essor au XVI^e siècle avec Bernard Palissy et Olivier de Serres, se développa au XVIII^e, devint un sujet d'étude important au XIX^e siècle, en particulier avec les travaux du géologue Russe Vasily Vasilievich Dokuchaev (DOKUCHAEV, 1893). Le sol constitue un système extrêmement complexe, défini comme la mince couche supérieure de la croûte terrestre (pédosphère) où entrent en interaction roche (lithosphère), air (atmosphère), eau (hydrosphère) et organismes vivants (biosphère). Il se compose de substances organiques et inorganiques, de composés solides, liquides et gazeux. Il constitue le milieu soutenant le cycle de la vie, il provient de la dégradation des roches sous l'action de l'eau, de l'air, du vent et des êtres vivants. Au cours du temps, il se modifie et acquiert des constituants (matières organiques, argiles...), et des structures (couleurs, agrégats...) qui lui sont spécifiques.

1.2. La formation des sols et les facteurs écologiques: (ROBERT, 1996)

Les facteurs écologiques intervenant dans la formation des sols ont été définis par une équation simple:

$$\text{Sol} = f(R, B, C, t, p)$$

R : La roche mère (le matériel minéral parental)

Avec sa composition chimique (silicatée, carbonatée, teneur en ferromagnésiens et en éléments alcalins et alcalino-terreux); sa composition minéralogique et sa structure (roche indurée, fissurée, meuble argileuse, meuble limoneuse), la roche mère a un rôle essentiellement statique et non dynamique comme les autres facteurs.

B : les êtres vivants et leur matière organique

Les sols constituent des habitats biologiques où certaines espèces y vivent à longueur de temps (hibernation de mammifères...), d'autres ne font qu'y séjourner (oeufs et larves d'insectes...), tout dépend du stade de leur vie. Une réserve génétique beaucoup plus importante d'un point de vue quantitatif et qualitatif (LEGROS, 2006). Les êtres vivants initient la formation du sol et agissent sur sa structuration, formation des agrégats avec la matière organique, structuration par les racines des plantes et sur l'altération de la phase minérale car par l'intermédiaire de certains microorganismes, les plantes prélèvent les éléments nutritifs.

C : Le climat

A travers la pluviométrie et la température, le climat détermine la répartition des sols au niveau du globe. Il intervient sur la vitesse de décomposition de la matière organique, sur l'altération des roches et des minéraux, cette altération est quasi inexistante à des températures très basses ou très élevées, si la pluviométrie est nulle. Le pourcentage de la matière organique tendance à s'accumuler si la pluviométrie est élevée et la température basse alors que l'altération minérale est intense.

T : Temps

Généralement, il faut quelques centaines d'années à de nombreux millénaires pour qu'un sol se développe. Tout dépend du type de roche mère et des processus de pédogénèse.

P : La pente et l'altitude

Des facteurs indirects qui agissent sur vitesses d'écoulement de l'eau et l'exposition du soleil (température du sol) donc même sur la faune et la flore terrestre.

Clicours.COM

1.3. Fonctions du sol

Que ce soit pour l'alimentation humaine, ou l'alimentation du bétail, le sol contient l'ensemble des composés organiques et minéraux nécessaires au métabolisme et à la croissance des végétaux et animaux. Il joue un rôle fondamental du cycle des eaux continentales, puisqu'il régule l'activité hydrologique en absorbant l'eau de pluies, limite le ruissellement et les écoulements boueux, tout en réapprovisionnant les nappes phréatiques. Avec son rôle de filtre et de tampon, il protège l'environnement et en particulier les humains, car il préserve la chaîne alimentaire et les réserves d'eau potable, des agents polluants. Dans un autre cadre, en stockant les gaz à effet de serre, le sol représente la plus grande réserve de carbone au monde (BOULAINÉ, 1989).

1.4. La structure du sol

Siège de nombreuses réactions chimiques et de phénomènes biologiques, la structure d'un sol conditionne ses propriétés physiques et chimiques, en particulier par rapport à l'eau qui y circule. Le sol comporte trois phases: une phase solide (minérale et organique), une phase liquide (qui correspond à l'eau et aux éléments dissous) et une phase gazeuse (CO₂, CH₄).

On appelle texture la résultante du mélange de terres fines et grossières dont les pourcentages varient d'un sol à l'autre. On y trouve alors du sable (grosses particules), du limon (particules moyennes) et de l'argile (fines particules); ce sont les trois parties minérales du sol. La texture du sol ne tient pas compte du calcaire et de la matière organique (MOEYS, 2009).

Cette classification est représentée à l'aide d'un triangle, appelé triangle des textures, dont les trois côtés correspondent respectivement aux pourcentages de sable, de limon et d'argile.

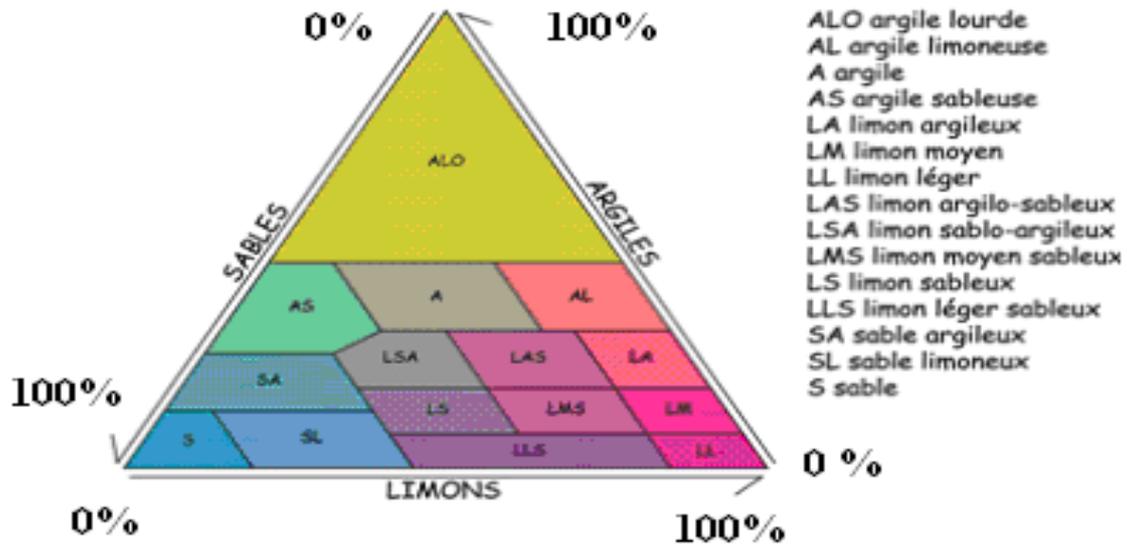


Figure 1 : Le triangle des textures des sols. (RICHER *et al.*, 2008)

On peut attribuer à chaque sol une classe texturale basée sur la proportion des particules de sable, de limon ou d'argile qu'il contient. La granulométrie fait référence à la répartition des sédiments en fonction de leur taille. C'est une propriété fixe du sol qui est de loin la propriété la plus importante. La texture a une influence dominante sur les propriétés physiques et chimiques des sols. Ces classes texturales sont définies dans le tableau 1 par le département de l'Agriculture des États-Unis (United States Department of Agriculture, USDA)

Tableau 1 : Classes texturales du sol en pourcentages (USDA)

<i>Appellation courante des sols (texture générale)</i>	<i>Sable</i>	<i>Limon (silt)</i>	<i>Argile</i>	<i>Classe texturale</i>
Sols sableux (texture grossière)	86 - 100	0 - 14	0 - 10	Sable
	70 - 86	0 - 30	0 - 15	Sable limoneux
Sols limoneux (texture modérément grossière)	50 - 70	0 - 50	0 - 20	Limon sableux
Sols limoneux (texture moyenne)	23 - 52	28 - 50	7 - 27	Limon
	20 - 50	74 - 88	0 - 27	limon silteux
	0 - 20	88 - 100	0 - 12	Limon très fin (silt)
Sols limoneux (texture modérément fine)	20 - 45	15 - 52	27 - 40	Limon argileux
	45 - 80	0 - 28	20 - 35	Limon sablo-argileux
	0 - 20	40 - 73	27 - 40	Limon silto-argileux
Sols argileux (texture fine)	45 - 65	0 - 20	35 - 55	Argile sableuse
	0 - 20	40 - 60	40 - 60	Argile silteuse
	0 - 45	0 - 40	40 - 100	Argile

1.5. Les types de cations dans le sol

Les cations en solution ont une charge électrostatique positive, contrairement aux argiles qui portent une charge électrostatique négative (Figure 2), ces derniers fixent les cations (pouvoir cationique) grâce à leur charge à dominante négative. Cette attraction entre argiles et cations permet aux argiles de former des agrégats par des ponts cationiques comme le calcium, qui est un cation bénéfique pour la structure du sol et favorise la formation d'agrégats stables. Les cations (Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , Al^{+++} , H^+ ...) ont un effet bénéfique ou neutre sur la structure. En quantité abondante, le Na^+ peut agir comme un dispersant, et cause des problèmes de sodicité qui se rencontrent surtout dans des zones arides et semi-arides où il y a trop peu de lessivage

pour emporter les sels vers la nappe phréatique (AUBERT, 1983).

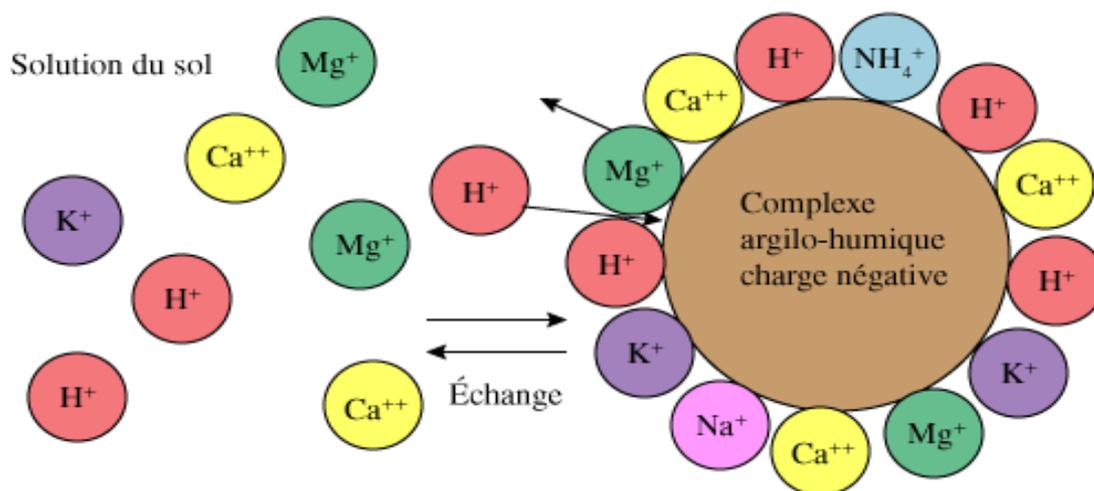


Figure 2: Fixation des ions sur le complexe argilo-humique (INRA, 2001).

1.6. Les menaces pesant sur les sols

La diminution des teneurs en matières organiques qui cause une fragilisation du sol, et la diminution de la biodiversité des sols sont une menace pour le futur. La dégradation des sols est de plus en plus importante provenant des activités humaines. Une agriculture mal gérée suffit à détruire en quelques années, ce que la nature a créé en quelques siècles, voire quelques millénaires.

L'Union Européenne, dans son projet de Directive sur les Sols, a identifié quelques menaces (Union Européenne, 2010):

1.6.1. La dégradation physique

-L'érosion: une perte irréversible de sol.

-La désertification.

-Le tassement du sol, diminution des fonctions de production et de stockage.

-La saturation en eau.

I.6.2. La dégradation chimique

-L'acidification et l'alcalinisation des sols.

-La salinisation.

-La contamination.

2. Les légumineuses

2.1. Présentation

Légumineuses, groupe de plantes à fleurs dicotylédones, l'une des deux classes d'angiospermes, constituant la forme la plus évoluée du règne végétal, dont le fruit est une gousse, comptant environ 18.000 espèces. Les légumineuses sont un groupe botanique à grand intérêt économique, avec des espèces alimentaires (pois, fèves, haricots), ornementales (arbre de Judée) et fourragères (luzerne). Ces plantes ont la particularité de rentrer en symbiose avec des bactéries qu'on appelle Rhizobiums, qui elles fixent l'azote atmosphérique et l'intègrent dans le sol.

2.2. Caractéristiques (MANGENOT, 2014)

2.2.1. Fruit

Le plus remarquable est le fruit. C'est une gousse aplatie à un seul compartiment. Elle se fend le long de deux sutures comme chez le pois, ou elle peut être "indéhiscente" c'est-à-dire ne se fend pas, comme l'arachide qui mûrit sous terre, et elle peut s'ouvrir en explosant comme chez le genêt ou le lupin. La gousse peut aussi varier de taille. Elle peut être de quelques millimètres à plus de 30cm de long. Elle peut être fortement colorée ou tout à fait terne, et contenir une ou plusieurs graines.

2.2.2. Fleurs

Les fleurs sont aussi très variables. Toutes les espèces ont les bases des cinq sépales, des cinq pétales et les étamines soudées, formant une coupe (l'hypanthium) autour de la base de l'ovaire. Elles ont généralement dix étamines soudées en une seule structure ou séparées en deux groupes, l'un de neuf étamines et l'autre d'une seule. Quant à l'ovaire, il consiste en un seul carpelle, situé au-dessus des autres pièces florales.

2.2.3. Nodosités

Ce qui caractérise cette famille c'est la présence sur les racines de renflements dits "nodosités", contenant des bactéries symbiotiques du genre "Rhizobium". Ces bactéries peuvent convertir l'azote atmosphérique en azote organique, (nitrate – NO_3^-), pouvant être assimilé par les végétaux. La plantation des légumineuses permet de renouveler l'azote du sol.

2.2.3.1. Association légumineuse – rhizobia

Grâce à leur ADN, certaines bactéries ont la capacité d'établir des associations symbiotiques avec les légumineuses connues sous le nom de rhizobium. C'est par cette symbiose que les plantes peuvent utiliser et intégrer l'azote atmosphérique dans le squelette des protéines. Environ 9540 tonnes d'azote par an, sont fixées biologiquement à partir de l'air. Par cette symbiose, l'inoculation des légumineuses avec des rhizobia permet de réduire l'utilisation des fertilisants azotés, ce qui influe sur l'environnement (STEVENSON, 1982).

2.2.3.2. Processus de la nodulation

Les rhizobia forment un groupe hétérogène de bactéries Gram-négatives. Grâce à des échanges de signaux moléculaires entre ces bactéries et leurs plantes hôtes, ces micro-organismes sont capables de noduler des légumineuses d'une manière spécifique. Ils envahissent les racines et forment des nodules qui sont des structures fortement différenciées (CERTES, 1901). Les

deux partenaires contrôlent génétiquement le développement du nodule. Plus de 40 gènes végétaux et 50 gènes bactériens ont été identifiés pour leur implication dans la nodulation et la fixation de l'azote (VANACE *et al.*, 1988). Les bactéries fixatrices d'azote se trouvent à l'état libre dans le sol, par des interactions sélectives, elles prolifèrent et s'attachent à une surface des racines pour adhérer à la surface des poils absorbants des racines. Comme c'est une interaction spécifique, l'attachement des bactéries à la surface des racines de l'hôte comprend des molécules spécifiques, les glycoprotéines (lectines) présentes à la surface des racines, et des polysaccharides extracellulaires produits par ces rhizobia. Les deux organismes se reconnaissent entre eux par leurs aspects morphologiques (La forme) et biochimiques (VINCENT, 1982). Les rhizobia secrètent des substances pour les poils absorbants qui se ramifient, et qui entourent les cellules bactériennes. C'est le premier indice visible de l'infection. Les bactéries provoquent une invagination de la paroi du poil absorbant pénétrant dans l'épiderme, ce qui va donner naissance à un cordon d'infection où sont alignés les rhizobia. Ce cordon traverse trois à six couches des cellules corticales. Au fond se trouve le méristème nodulaire. Les rhizobia sont relâchés à partir du cordon d'infection à l'intérieur des cellules corticales, ces bactéries se divisent et se différencient en cellules fixatrices d'azote reconnues sous le nom de bactéroïdes, c'est la dernière étape de la formation du nodule.

Grâce à un complexe enzymatique appelé nitrogénase, ces bactéries convertissent l'azote moléculaire en ammoniac (ROLFE et GRESSHOFF, 1988).

Le bactéroïde stimule l'hôte par la production de substances spécifiques telles que les bactériocines, tandis que la plante, par des nodulines, qui sont des protéines nodulaires, impliquées dans la composition de la leghémoglobine, qui elle-même est impliquée dans le transport d'oxygène. (NAP et BISSELING 1990).

Durant le développement séquentiel de la symbiose, les gènes du rhizobium impliqués dans la nodulation sont bien caractérisés. Ils sont connus sous le nom des gènes Nod. Ces gènes codent la synthèse des exopolysaccharides. Ce

n'est qu'après cela que les gènes de fixation d'azote sont activés (MARTINEZ *et al.*, 1990).

Chez la majorité des espèces de rhizobium, les gènes Nod se trouvent dans le plasmide symbiotique (*sym*). Génération après génération, la séquence d'ADN de ces gènes est hautement conservée à travers toutes les souches de rhizobium.

Les gènes Nod (*NodD, NodABC*) jouent un rôle important dans la courbure des poils absorbants et pour la division racinaire. Leur mutation inhibe la courbure des poils racinaires, la formation des cordons d'infection, l'initiation des nodules et la morphogenèse nodulaire.

Certains gènes sont appliqués dans la spécificité de la plante hôte, c'est les gènes (*NodFE, NodGH, et NodLMN*) et ils sont également impliqués dans l'initiation de la nodulation. (BRUSSELL *et al.*, 1986).

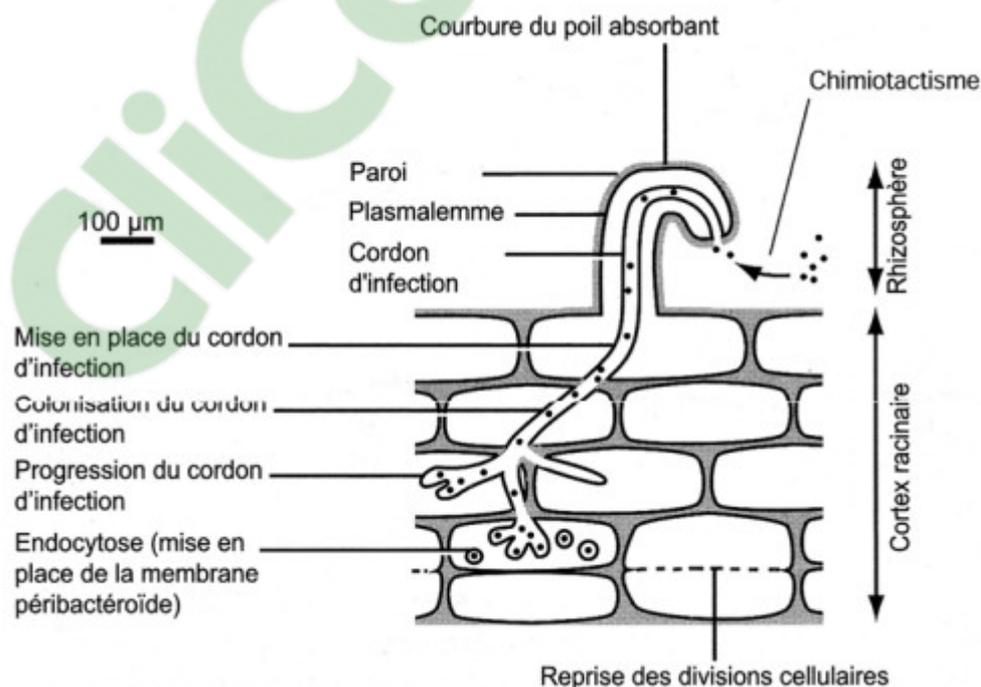


Figure 3: Mise en place d'une nodosité sur une racine de légumineuse.

D'après SELOSSE (2000). « La symbiose : Structure et fonctions, rôle écologique et évolutif ». Editeur : Vuibert (ISBN 2 7117 5283 6).

2.3. Classification (APG 2009)

Les légumineuses actuellement appartenant à la famille des *Fabaceae*, ordre des *Fabales*, sont divisées en trois sous-familles: Les Papilionoïdées, Mimosoïdées et Césalpinioïdées.

Les Papilionoïdées (genêt, trèfle), se retrouvent généralement dans les régions tempérées.

Les Mimosoïdées (mimosa, acacia) et les Césalpinioïdées (arbre de Judée), plutôt dans les régions tropicales et subtropicales.

Les légumineuses comptent 500 genres. La famille (la moitié) la plus représentée, avec plus de 250 genres, est celle des Papilionoïdées.

2.3.1. Papilionoïdées

Cette famille des Papilionoïdées est composée surtout de plantes herbacées aux feuilles pennées, bipennées rarement simples et aux fleurs irrégulières (forme de papillon) ou zygomorphe, ayant dix étamines monadelphes ou diadelphes. Il existe environ 12.000 espèces, dont le pois (*Pisum sativum*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*), les arachides (*Arachis hypogaea*), les sojas (*Soya beans*), le trèfle (*Trifolium repens*), le genêt (*Genista sp*), le lupin (*Lupinus sp*).

2.3.2. Mimosoïdées

Les Mimosoïdées comprennent surtout des arbres et des arbustes, et sont caractérisés par leurs feuilles bipennées composées (doublement ramifiées) et leurs fleurs régulières (actinomorphe) portent au moins dix étamines qui s'étendent au-delà des pétales, elles comprennent environ 3.000 espèces dont les acacias et les mimosas.

2.3.3. Césalpinioïdées

Les Césalpinioïdées sont surtout ligneuses. Leurs feuilles sont composées, pennées, rarement simples et leurs fleurs, de forme irrégulière (pseudo papillon), ayant dix étamines en un seul groupe. La sous-famille

des Césalpinioïdées comprend environ 3.000 espèces, dont l'arbre de Judée (*Cercis siliquastrum*) et le caroubier (*Ceratonia siliqua*).

2.4. *Acacia*

2.4.1. L'*Acacia* en Algérie

Depuis quelques décennies, les phénomènes de dégradation et de désertification connaissent une ampleur particulière en Algérie. L'accroissement démographique et la privatisation des terres a favorisé la disparition du couvert végétal. Plusieurs actions de réhabilitation ont été réalisées en Algérie dont notamment la mise en défense et la constitution de réserves fourragères. Un certain nombre d'espèces ligneuses exotiques ont été introduites, parmi elles *Acacia salicina* étant l'espèce la plus utilisée dans tous les projets de réhabilitation des parcours.

2.4.2. Diversité du genre

Acacia est un genre cosmopolite très riche en espèces. De nouvelles espèces sont découvertes régulièrement. 1.250 espèces ont été identifiées et la majorité sont originaires d'Australie, seules 134 espèces sont africaines (WICKENS, 1996). Ce nombre est passé à plus de 1.350 espèces dont 957 en Australie (MASLIN et al, 2003) et trois nouvelles espèces tout récemment décrites au Kimberley, en Australie Occidentale (LEWINGTON et MASLIN, 2009).

2.4.3. Classifications de BENTHAM (1875) à MASLIN *et al.*, (2003)

Apparue il y a 70 millions d'années (POLHILL et al. 1981), l'*Acacia* représente le genre le plus nombreux des Mimosoideae, une des trois sous-familles des Fabaceae (LEWIS *et al.*, 2001). Le nom *Acacia* proviendrait du grec akazein (aiguiser), par allusion aux stipules épineuses de nombreuses espèces africaines et asiatiques (ROSS, 1973). Le genre a été décrit pour la

première fois par Philipp Miller en 1754 présentant de nombreuses étamines libres.

Cette définition étroite resta relativement acceptée jusqu'à la série de publications du botaniste britannique George Bentham, entre 1842 et 1875. Bentham réintégra dans le genre *Acacia* de nombreuses espèces rattachées maintenant aux tribus Ingeae et Mimoseae.

En 1875, Bentham publie la version finale de sa classification du genre *Acacia*, en identifiant six séries: *Gummiferae*, *Vulgares*, *Filicinae*, *Phyllodinae*, *Botryocephalae* et *Pulchellae*. Cette division était basée principalement sur les caractères du feuillage et des stipules. Cette synthèse de Bentham était remarquable et a pour l'essentiel, résisté pendant environ 100 ans (MASLIN *et al.*, 2003). La classification de Bentham a été modifiée pour la première fois par Jacques Vassal en 1972 puis par Pedley en 1978 et 1986. De nouvelles données ont été accumulées à partir d'études morphologiques et moléculaires. Elles ont conduit à une meilleure compréhension de la phylogénie des *Acacias*. Ces études ont montré que les sous-genres *Acacia* et *Phyllodineae* sont monophylétiques, contrairement au sous-genre *Aculeiferum*. Dans ce dernier cas, trois assemblages monophylétiques ont été distingués (MASLIN *et al.*, 2003). *Senegali* fondé à partir du sous-genre *Aculeiferum* (section *Senegalia*), *Acaciella* fondé à partir du sous-genre *Aculeiferum* (section *Filicinae*), *Racosperma* à partir du sous-genre *Phyllodineae*.

Tableau 2 : Classification des acacias de BENTHAM 1875 à MASLIN *et al.*, 2003

Bentham 1875	Vassal 1972	Pedley 1978	Pedley 1986	Maslin <i>et al.</i> 2003
<i>Acacia</i>	<i>Acacia</i>	<i>Acacia</i>	<i>Acacia</i>	<i>Acacia</i>
Ser : <i>Gummiferae</i>	Subg : <i>Acacia</i>	Subg : <i>Acacia</i>		
Ser : <i>Vulgares</i>	Subg : <i>Aculeiferum</i>	Subg : <i>Aculeiferum</i>	<i>Senegalia</i>	
Ser : <i>Filicinae</i>	Sec : <i>Monacantha</i> Sec : <i>Aculeiferum</i> Sec : <i>Filicinae</i> ¹	Sec : <i>Spiciflorae</i> Sec : <i>Filicinae</i>	Sec : <i>Senegalia</i> Sec : <i>Filicinae</i>	<i>Senegalia</i> <i>Acaciella</i>
Ser : <i>Botrycephalae</i>	Subg <i>Phyllodineae</i>	Subg : <i>Phyllodineae</i>	<i>Racosperma</i>	<i>Racosperma</i>
Ser : <i>Phyllodineae</i>	(syn.Subg <i>Heterophyllum</i>)	Sec : <i>Botrycephalae</i>	Sec : <i>Racosperma</i>	
Subser : <i>Uninerves</i>	Sec <i>Uninervea</i>	Sec : <i>Phyllodineae</i>		
Subser : <i>Continuae</i>		Sec : <i>ailés</i>		
Subser : <i>ailés</i>				
Subser : <i>Pungentes</i>	Sec : <i>Heterophyllum</i>	Sec : <i>Plurinerves</i>	Sec : <i>Plurinervia</i>	
Subser : <i>Calamiformes</i>		Sec : <i>Juliflorae</i>		
Subser : <i>Plurinerves</i>				
Subser : <i>Juliflorae</i>		Sec : <i>Lycopodiifoliae</i>	Sec : <i>Lycopodiifolia</i>	
Subser : <i>Brunioideae</i> ²				
Ser : <i>Pulchellae</i>	Sec : <i>Pulchelloidea</i> ³	Sec : <i>Pulchellae</i>	Sec : <i>Pulchella</i>	

Notes : Sec = Section ; Ser = Série ; Sbser = Sous-série ; Subg = Sous-genre.

1 : Formalisée par (Guinet et Vassal, 1978)

2 : La Sous-série *Brunioideae* peut être rattachée à la série *Phyllodineae*, cependant, les taxons que Bentham inclut dans ce groupe se réfèrent à la section *Lycopodiifolia*, aucune de ces espèces n'a été incluse dans la classification de Vassal.

3 : La Section *Pulchelloidea* inclut des espèces provenant des sous-séries *Alatae*, *Continuae*, *Calamiformes*, *Plurinerves*, *Uninerves* et de la série *Pulchellae* de Bentham.

2.4.4. Caractéristiques et morphologie générale des Acacia

Le système de reproduction des acacias est préférentiellement allogame (MOFFETT, 1956 et SHERRY, 1971). La régénération naturelle se fait principalement par semis, mais certaines espèces peuvent se régénérer par rejets de souche, comme *Faidherbia albida* (*Acacia albida* Delile). Les Acacias sont de taille très variable. Certains sont des lianes ligneuses, d'autres des buissons bas, tandis que d'autres encore, sont de grands arbres forestiers de plus de 35 mètres de hauteur (*Acacia melanoxylon*). Les caractéristiques des feuilles des acacias sont diverses. Les acacias africains ont une cime aplatie typique, à l'exception de *Faidherbia albida* (ROUPSARD *et al.*, 1999), elles perdent leurs feuilles durant la saison sèche, tandis que la plupart des acacias australiens ont un feuillage persistant, elles ont une cime plus ou moins sphérique (FAO, 1980).

2.4.4.1. Feuilles et Phyllodes

Les premières paires de feuilles sont pennées ou bipennées. Cette forme foliaire persiste dans les espèces africaines alors que dans de nombreuses espèces australiennes, les feuilles pennées disparaissent durant la première année, et sont ensuite remplacées par des phyllodes qui sont des pétioles développés en organes semblables à des feuilles (ATKIN *et al.*, 1998). La taille des phyllodes peut varier entre 1,5 mm (*Acacia minutifolia*) et 30 cm de longueur (*Acacia dunnii*). Elles peuvent être larges et aplaties (*Acacia mangium*) ou cylindriques, rigides et pointues (*Acacia ulcifolia*) (FAO, 1980).

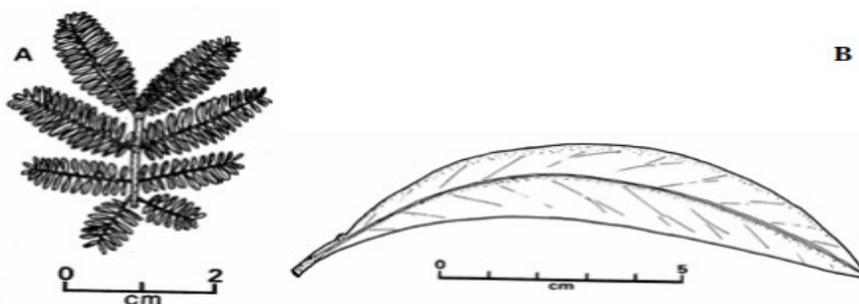


Figure 4: Exemple typique de phyllode d'*Acacia* (Doran *et al.*, 1983).

(A): Feuille d'*Acacia baileyana* avec 4 paires de folioles.

(B) : Phyllode d'*Acacia falciformis*.

2.4.4.2. Epines et aiguillons

On trouve les épines sur de nombreux acacias et particulièrement sur les espèces africaines et américaines. Elles se divisent en deux groupes, celles qui possèdent des stipules spinescentes (couvertes d'épines) comme *Acacia nilotica*, ou non comme *Acacia senegal*, donc les épines et les aiguillons ont un intérêt taxonomique important. Une épine possède un système vasculaire qui prolonge celui de la tige et peut atteindre jusqu'à 30 cm de longueur (*Acacia karroo*). Par contre un aiguillon est une simple excroissance épidermique non vascularisée (CARR, 1976).

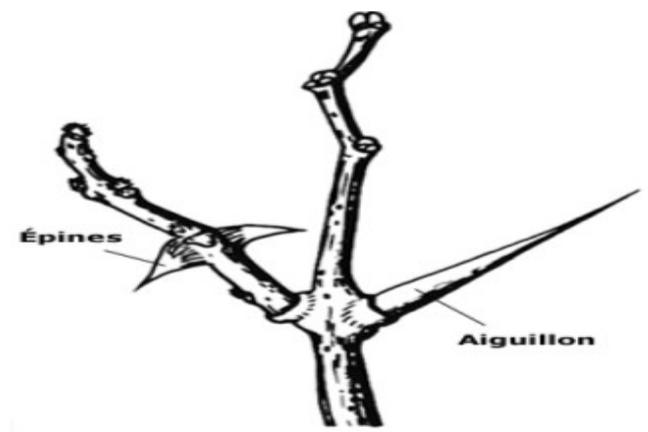


Figure 5 : Illustration des épines ou aiguillons chez *Acacia* (FAO, 1980).

2.4.5. Répartition des acacias dans le monde

Les acacias sont des arbres qu'on trouve presque partout dans le monde. Avec leurs caractéristiques remarquables, ces végétaux peuvent être très résistants, et ont la capacité de coloniser des sols pauvres. Comme ce sont des légumineuses qui peuvent fixer l'azote atmosphérique grâce à leur association symbiotique avec les *Rhizobium* (BROCKWELL *et al.*, 2005 ; WICKENS, 1996), elles peuvent tolérer certains niveaux de salinité élevés par rapport à d'autres

végétaux (THRALL *et al.*, 2005), mais supportent aussi la sécheresse (AKHTER *et al.*, 2005 ; ALBOUCHI *et al.*, 2001).

Les 1.350 espèces d'Acacia dans le monde se répartissent comme suit: 144 en Afrique, 89 en Asie, 185 en Amérique, et 993 en Australie et dans les régions du Pacifique (MASLIN *et al.*, 2003). Les acacias s'étendent sur tous les continents sauf sur l'Europe et l'Antarctique. Dans les zones arides, les acacias peuvent dominer surtout sur des sols contenant une forte proportion de sable et de gravier; des dunes, plaines sableuses ou crêtes rocheuses où ils forment des forêts claires (BEADLE, 1981).



Figure 6 : Aire de répartition du genre *Acacia* dans le monde en rouge (MASLIN *et al.*, 2003).

3. LE CYCLE DE L'AZOTE

3.1. Définition

La planète terre est entourée d'une couche gazeuse dite "atmosphère", constitué de 78% d'azote, s'y trouvant sous forme moléculaire diatomique N_2 , mais la plupart des organismes végétaux ne peuvent l'utiliser directement pour fabriquer leurs protéines et acides nucléiques. Ils ont besoin de molécules d'azote fixées comme l'ammoniac NH_3 (atomes d'hydrogènes liés à l'azote), ou de nitrate NO_3^- . (Atomes d'oxygènes liés à l'azote).

Par la présence de certaines bactéries libres qui vivent dans le sol, l'azote atmosphérique est fixé grâce à une enzyme qu'on appelle la nitrogénase qui catalyse la séquence complète des réactions au cours desquelles la réduction de diazote N_2 conduit à la formation d'ammoniac NH_3 . Ces bactéries vivent dans le sol soit seules, soit en symbiose avec d'autres bactéries aérobies (Azotobacter, Azomonas), ou même anaérobies (Clostridium, Citrobacter...). D'autres bactéries comme Rhizobium, vivent en symbiose avec des plantes. (POSTGATE, 1998).

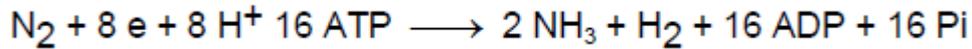
3.2. La fixation de l'azote dans le sol

L'azote gazeux (N_2) est transformé en ammoniac qui est assimilable par les plantes par plusieurs processus naturels, les cyanobactéries (appelées aussi algues bleues), et les bactéries des nodules de légumineuses. C'est grâce aux microorganismes du sol que les légumineuses sécrètent de l'azote dans le sol.

La fixation biologique de l'azote se déroule à $25^\circ C$ et est catalysée par un complexe enzymatique: la *Nitrogénase/Hydrogénase*. La réaction, réalisée par les fixateurs biologiques, exige :

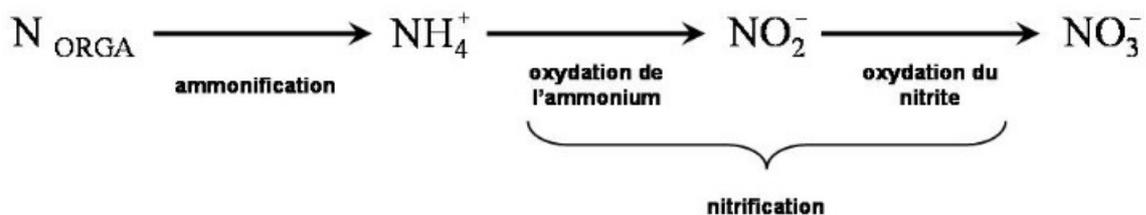
- 8 électrons et 8 protons pour la réduction,
- 16 ATP pour la fourniture de l'énergie d'activation.

La réaction globale devient :



3.3. Minéralisation de l'azote organique

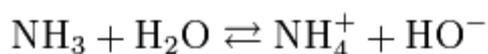
La minéralisation est la réaction biologique conduisant à la formation de l'azote minérale, l'azote nitrique ou nitrate (NO_3^-). Cette renaissance de l'azote minéral se produit en plusieurs étapes selon la réaction suivante (N'DAYEGAMIYE, 2007) :



3.3.1. Ammonification

A partir des sucres fabriqués par photosynthèse et d'ions NO_3^- puisés dans le sol, les plantes produisent de la matière organique azotée (acides aminés et autres molécules organiques azotées). Cette matière organique est utilisée par les animaux pour fabriquer leur propre matière organique azotée, qui est par la suite décomposée par des bactéries qui transforment la matière organique azotée provenant des plantes ou des animaux morts en CO_2 , H_2O et ammoniac (NH_3) (VALE, 2006).

Au contact de l'eau, l'ammoniac se transforme en ammonium (NH_4^+) selon la réaction :



3.3.2. Nitrification

L'oxydation de l'ammonium et du nitrite est appelée "nitrification", processus

contrôlé par certains micro-organismes spécifiques (BARBAULT, 2009).

3.3.2.1. Nitritation

Grâce aux bactéries dites nitreuses (les nitrosomonas), l'ammonium (NH_4^+) est oxydé en nitrite (NO_2^-) selon la réaction suivante :



3.3.2.2. Nitratisation

Grâce à des bactéries nitriques (les nitrobacters), le nitrite est oxydé en nitrate selon la réaction suivante :



Tableau 3 : Caractéristique des bactéries nitrifiantes (PRESCOTT *et al.*, 2003)

Espèce	Morphologie cellulaire	Reproduction	Mobilité	Habitats
Nitrosomonas	Bacille	Scission binaire	1 ou 2 flagelles	Sols, égouts, eaux douce, marines
Nitrobacter	Bacille	Bourgeoisement	1 flagelle polaire	Eaux douce, marines

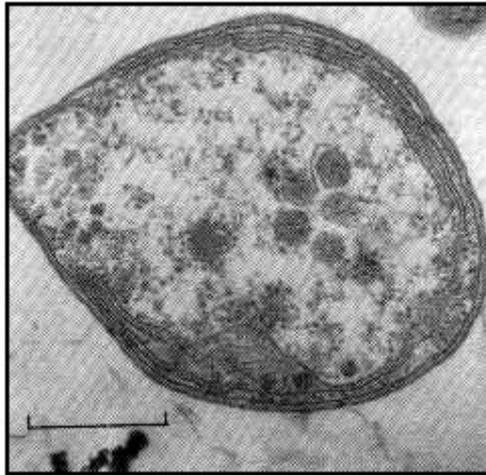


Figure 7 : Photo de la bactérie *Nitrosomonas europaea* au microscope électronique (WATSON *et al.*, 1981)

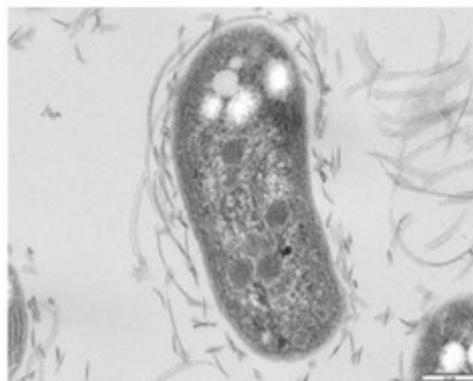
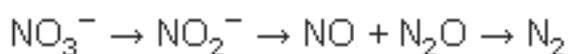


Figure 8 : Photo de la bactérie *Nitrobacter* au microscope électronique. (HICKEY, 2006)

3.3.3. La dénitrification

Un processus de réduction par des bactéries anaérobies (*Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Spirillum*, *Bacillus*, bactéries hétérotrophes) qui provoquent une succession de réductions des oxydes d'azote (NO_3^- , NO_2^- , N_2O , NO) jusqu'au stade de l'azote moléculaire (N_2) selon la réaction suivante :



Chaque étape est catalysée par une enzyme spécifique: nitrate réductase (NAR), nitrite réductase (NIR), oxyde nitrique réductase (NOR) et oxyde nitreux réductase (N₂OR) (BOUGARD, 2004).

Réaction finale :



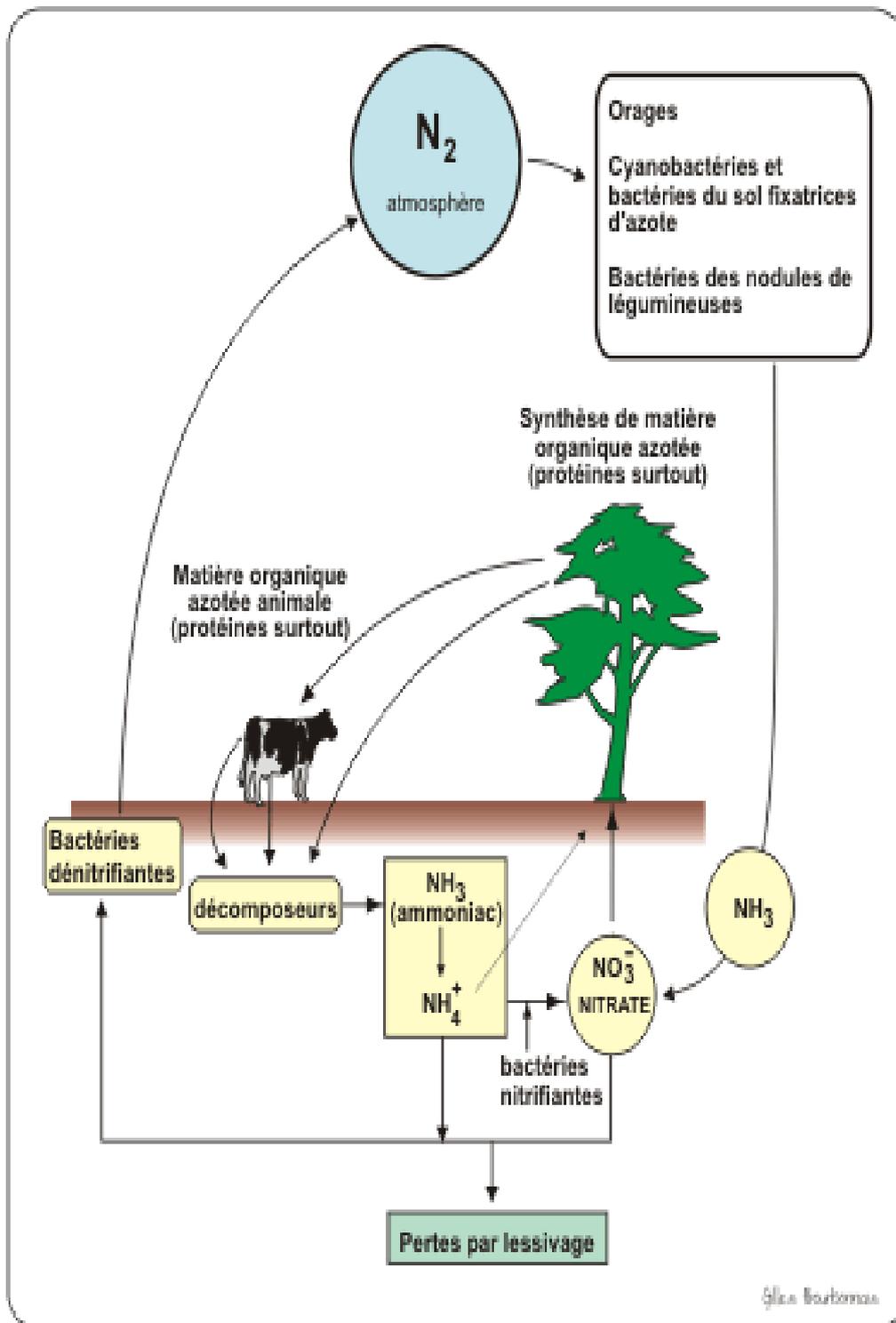


Figure 9 : Le cycle de l'azote (INRA, 2012)

3.4. Les risques d'excès en azote

L'azote est considéré comme un élément essentiel à la croissance des plantes. Une utilisation massive d'engrais azotés a entraîné une croissance des rendements agricoles. Cet important apport de fertilisants n'est pas sans conséquences pour l'environnement. La quantité azotée et le moment de l'application (saison et niveau de la pluviosité) influent sur le degré de toxicité. En direction des nappes phréatiques, les nitrates peuvent être entraînés par lessivage des sols, contrairement à l'ammonium qui est lié aux argiles du sol par des forces électrostatiques chargées négativement, (CASEY *et al.*, 1979 ; MATERNE *et al.*, 1991).

La teneur en azote dans les eaux fluviales et côtières contribue au déséquilibre écologique. Parmi les effets néfastes de cette pollution qui est causée généralement par les cultivateurs et éleveurs, les nitrates et nitrites qui représentent une source de toxicité pour les êtres vivants. L'organisation mondiale pour la santé (O.M.S.) a fixé la dose journalière maximale, admissible par un adulte, à $3.65 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$. Au delà de cette dose, il peut s'en suivre des troubles, plus ou moins graves, comme le manque d'oxygénation des tissus dû à la méthémoglobinémie, ou encore à la formation de nitrosamines cancérigènes, (MEYER *et al.*, 1993).

4. Les Engrais

4.1. Généralités

Les plantes ont besoin d'eau, d'éléments nutritifs, de dioxyde de carbone (CO_2) et d'énergie solaire, pour accomplir le processus de leur vie végétale. L'azote est absorbé par les plantes sous forme de nitrate (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+). En agriculture, les cultures appauvrissent le sol, en faisant disparaître d'importantes quantités d'éléments minéraux. Les engrais sont des substances ou des mélanges utilisés pour enrichir le sol en éléments

utiles à la croissance et à l'augmentation du rendement et de la qualité des végétaux. L'espèce végétale et les conditions des milieux, agissent sur

chacune de ces formes. (HAGEMAN, 1984). Cet apport d'engrais est dit "la fertilisation".

Les engrais fournissent des éléments de base, des éléments secondaires et des oligoéléments:

a) des éléments de base, comme l'azote (N), le Phosphore (P), le Potassium (K).

Lorsque ces éléments sont associés ensemble, on parle d'engrais de type "NPK", lorsqu'ils ne le sont pas, on parle de type N; NP; NK.

b) des éléments secondaires, comme le Calcium (Ca), le Souffre (S), le Magnésium (Mg).

c) des oligoéléments, comme le Fer (Fe), le Manganèse (Mn), le Cuivre (Cu), le Bore (B), le Silicium (Si), le Zinc (Zn), le Sodium (Na), le Cobalt (Co), et. le Chlore (Cl)

Ces éléments se trouvent dispersés dans le sol en quantité, mais sont ajoutés seulement en cas de carence.

Les plantes ont généralement besoin de bonnes quantités d'Azote, de Phosphore et de Potassium (N, P, K) et ces éléments sont le plus souvent ajoutés au sol qui en manque.

Les engrais ont été utilisés depuis l'antiquité. On ajoutait au sol les Phosphates des os, l'azote des fumures animales et humaines, le Potassium de cendres (LAYZELL, 1990).

Les Egyptiens utilisaient les limons apportés par le Nil, pour enrichir le sol. Les engrais chimiques sont apparus au 19^{ème} siècle, avec l'industrie chimique, charbonnière et pétrolière.

4.2. Les différents types d'engrais

Les engrais sont de trois (3) types.

- les engrais chimiques ou minéraux,
- les engrais organiques,
- les engrais biologiques.

4.2.1. Les engrais minéraux

Les engrais minéraux sont soit "naturels" (Gisements naturels) soit "chimiques" (produits de manière industrielle et contiennent une bonne quantité d'éléments nutritifs) (FARRE, 2004).

Les engrais azotés sont obtenus par synthèse de l'azote de l'air et de gaz naturel.

Les engrais phosphatés ou potassiques, par extinction de minéral (roches sédimentaires ou salines) caractérisés par leur rapide dissolution dans l'eau et leur rapide absorption par les plantes.

4.2.2. Les engrais organiques

Les engrais organiques sont obtenus des résidus des déchets végétaux et surtout animaux. Sous forme organique, ils apportent les éléments de base (azote, phosphate, potassium), des éléments secondaires et la plupart des oligoéléments.

Pour faciliter leur absorption par les plantes, ces éléments doivent passer par l'étape de minéralisation, c'est-à-dire leur transformation en éléments minéraux.

Tableau 4 : La teneur moyenne en éléments fertilisants (Kg pour 1.000kg de fumier) (GROS, 1967)

Types de fumier	Azote (Kg)	Acide phosphorique (kg)	Potasse (Kg)
Fumier de cheval	6,7	2,3	7,2
Fumier de bovidé	3,4	1,3	3,5
Fumier de porc	4,5	2,0	6,0
Fumier de mouton	8,2	2,1	8,4

Tableau 5: La teneur des fumiers en matière organique, en phosphore, en potassium et en azote (Kg pour 1.000kg de fumier) (JEANMAIRE et DERONT, 1999)

Type d'élevage	MO (Kg)	P₂O₅ (Kg)	K₂O (Kg)	N total (Kg)
Bovins	175	2,4	12	5,0
Moutons et chèvres	180	2,5	12	5,5
Volailles	300 – 440	18 – 25	14	20 - 40

4.2.3. Les engrais biologiques

Les résidus organiques sont les déchets (feuilles, tiges ou racines) restés sur le sol après une récolte. Ils constituent l'engrais vert.

Ces engrais verts maintiennent ou améliorent la fertilité des sols. Ils protègent, améliorent et stimulent l'activité biologique (WARMAN, 1981).

L'agriculture biologique est un système de production qui évite, ou exclut totalement, l'utilisation d'engrais de synthèse, de pesticides. Cette agriculture utilise, dans la mesure du possible, la rotation, les résidus de récoltes, le fumier, les déchets biologiques et les engrais verts pour entretenir la fertilité du sol. Elle recommande également une approche biologique de la lutte contre les insectes nuisibles et autres déprédateurs ainsi que du désherbage. L'agriculture biologique se développe beaucoup dans les pays industrialisés et séduit les consommateurs. Elle offre également de nouveaux débouchés aux agriculteurs durement touchés par l'évolution de leur profession. Dans les pays sous-développés et en voie de développement, elle est pratiquée de manière traditionnelle, compte tenu de son faible coût économique et de la pénurie de produits chimiques, que sont les engrais ou les pesticides. En Europe, on parle d'agriculture biologique, tandis que dans les pays anglo-saxons, Royaume-Uni et aux États-Unis, on préfère parler "d'agriculture organique". L'expression "agriculture biodynamique" est parfois employée, bien que ce concept s'intègre dans une philosophie plus vaste, qui englobe l'enseignement, l'art, la nutrition, la religion et l'agriculture.

Rudolf Steiner, philosophe autrichien et fondateur de "l'anthroposophie", est reconnu comme le père de l'agriculture biodynamique (USDA-ORGANIC, 2006).

Tableau 6 : La teneur des différents engrais organiques en éléments nutritifs (azote N, phosphore P, potassium K₂, calcium Ca et matière organique MO) (ITCF –TVAI, 2002)

Engrais organique			Composition en Kg/tonne de produit				
Famille	Type résidu	Origine	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Effluents D'élevage	Fumier de dépôt	bovin	6.5	3	11	5	
	Fumier frais (très compact de litière accumulée)		5.8	2.3	9.6	3.8	1.7
	Fumier compact de pente paillée		4.9	2.3	9	3.8	1.7
	Fumier compact d'étable entravée		5.3	1.7	7.1	3.8	1.7
	Fumier moude logette		5.1	2.3	6.2	3.8	1.7
	Compost de fumier		8	5	14	6	3
	Lisier presque pur		4	2	5	4.5	1.5
	Lisier dilué		2.7	1.1	3.3	2.5	1
	Lisier très dilué		1.6	0.8	2.4	1	0.5
	Purin pur		3	0.9	5.7	2	2
	Purin dilué	0.4	0.2	1.5	1	0.5	
	Fumier de litière accumulée sur paille	Porcin	7.2	7	10.2	6	2.5
	fumier de litière raclée sur paille		9.1	10.9	11.2	7.5	3.1
	Lissier pur		9.6	4.8	5.9	5.2	1.7
	Lisier dilué		4.3	3.8	2.6	3.6	1.2
	Compact de fumier de litière accumulée		7.6	10.2	14.7	8	3
	Compact de fumier de litière raclée		11	18.3	20.8	10	4
	Compact de fumier de lisier sur paille		7.7	14.9	10.5	5	2
	Compact de refus de tamisage de lisier		7.2	43.4	2.6	10	3
	Lisier pondeuse	Volaille	6.8	9.5	5.5	16.2	1.2
Fiente humide pondeuse	15		14	12	40.5	3	
Fiente préséchée sur tapis pondeuse	22		20	12	50	4.8	
Fiente séchée en fosse profonde pondeuse	30		40	28	60	8	

	Fiente séchée sous hangar poudeuse		40	40	28	60	8
	Lisier canard		5.9	5.9	4.1	6	1
	Fumier sortie du bâtiment poulet de chair		29	25	20	25.5	3.7
	fumier après stockage poulet de chair		22	23	18	11	2.8
	Fumier sortie du bâtiment poulet label		20	18	15	10	2.5
	fumier après stockage poulet label		15	17	14	7.5	1.9
	Fumier sortie bâtiment dinde de chair		27	27	20	23.5	3.7
	Fumier après stockage dinde de chair		21	25	18	18.2	2.8
	Fumier sortie du bâtiment pintade de chair		32	25	20	18	2
	Fumier		6.7	4	12	11.2	1.4
	Compost de fumier d'ovins	ovin	11.5	7	23	22	3
	Fumier	Caprin	6.1	5.2	7	8	2
	Fumier	Cheval	8.2	3.2	9	6	2
	Lisier	Lapin	8.5	13.5	7.5	13.9	3.5
Effluents industriels	Ecume de sucrerie		3	8.5	0.4	300	5
	Vinasse de mélasse		40	9	90	2	1
Effluent urbain	Compost urbain (ordures ménagères)		6	4	5	36	4
	Compost végétal urbain		8	4	10	2	1
	Boue de station d'épuration liquide		2 à 5	4	0.6	1	0.5
	Boue de station d'épuration pateuse		5 à 12	10	1.5	2	1.25
	Boue de station d'épuration chaulée solide		5 à 12	12	1.8	35	1.5
	Boue de station d'épuration séchée		30 à 40	36	5.4	9	4.5

4.2.3.1. Les avantages des engrais verts (CPVQ, 1993)

Les engrais verts présentent des avantages, parmi lesquels :

- ils protègent la surface du sol et améliorent sa structure ;
- ils assimilent les éléments nutritifs du sol et l'améliorent pour la culture suivante ;

- ils fournissent l'azote (cas des légumineuses) ;
- ils accroissent l'activité microbienne du sol ;
- l'action mécanique de leurs racines améliore l'aération des sols.

4.2.3.2. Les végétaux à utiliser comme engrais vert

Les plantes utilisables comme engrais vert doivent pour être économiques :

- être cultivées à moindre coût ;
- produire rapidement des pousses ;
- établir rapidement une bonne couverture vivante ;
- être capables de pousser sur des sols pauvres.

4.3. L'application et usages des engrais

Les engrais sont utilisés de différentes manières.

Ils sont directement appliqués au sol, ou bien dissous dans les eaux d'irrigation, ou aussi par pulvérisation (La voie agricole, 2003).

Pour leur utilisation, certaines précautions doivent être observées :

- il faut éviter les excès car les apports supplémentaires risquent d'être toxiques pour les plantes.
- Il faut surveiller leurs effets sur l'acidité ou alcalinité du sol.

4.4. Production et consommation des engrais dans le monde

Tous les pays du monde ont connu la même progression afin d'améliorer leur production (DE KIMPE, 1996). L'utilisation mondiale d'engrais est passée de 73,8 millions de tonnes à 132,7 entre 1972 et 1992. Au Canada, l'utilisation des engrais est passée de 1 million de tonnes en 1960 à 4 millions en 1985.

En Algérie, l'utilisation des engrais est réduite en comparaison avec d'autres pays, seulement 100 000 tonnes d'éléments fertilisants alors que la moyenne mondiale est située à 850 000 tonnes par an (ASMIDAL, 2004).

5. Le Soja

5.1. Présentation

Le soja est une plante légumineuse annuelle, cultivée pour ses graines oléagineuses. C'est une plante dressée, mesurant de 60 cm à 1 m de haut, aux grandes feuilles à trois folioles, à petites fleurs blanches ou mauves, des gousses contenant de une à quatre graines, dont les pousses peuvent être gravement toxiques. Largement cultivé à travers le monde et voisin du haricot, le soja, anciennement cultivé au Japon et en Corée, il est sûrement originaire de l'est de la Chine (BOISLEVE, 2010).

5.2. Utilisation et composition

La farine et l'huile sont les principaux produits à base de soja. La farine de soja est très demandée dans les pays où l'alimentation est en manque de protéines. Une utilisation grandissante dans l'alimentation humaine, dans d'autres elle est la source principale de compléments protéinés pour l'alimentation animale. L'huile a des usages industriels (peintures, vernis), peut être à l'état brut ou transformée, dans l'alimentation humaine, l'huile de soja est une excellente huile alimentaire, contenant une proportion assez équilibrée d'acides gras oméga-6 et oméga-3 soit 6,7. La proportion idéale étant de 5, selon l'AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments).

Clicours.COM

Tableau 7 : Les différents composés du soja par 100g (USDA National Nutrient Database for Standard Reference)

Composé	Famille d'acide gras	Teneur pour 100g
Acide érucastique (mono-insaturé)	$\Omega 9$	0,233 g
Acide gras trans		1,8 g
Acide palmitique (saturé)		10,455g
Total acides gras saturés		15,65g
Vitamine K		183,9 μg
Acide oléique (mono-insaturé)	$\Omega 9$	22,55g
Total acides gras mono-insaturés		22,783g
Acide stéarique (saturé)		4,435g
Acide linoléique (polyinsaturé)	$\Omega 6$	50,952g
Total acides gras polyinsaturés		57,74g
Acide alpha-linolénique (polyinsaturé)	$\Omega 3$	6,789g

Vitamine E		8,18mg
------------	--	--------

5.3. Le Soja génétiquement modifié

Organisme génétiquement modifié, l'OGM est un organisme vivant dont l'ADN a été modifié, pour acquérir des propriétés, dont la nature ne l'a pas doté, pour rendre dans l'agriculture, une plante résistante à un herbicide. L'utilisation des herbicides, est sans crainte d'éliminer les plantes, qui sont génétiquement modifiées. Ces produits chimiques ne sont pas biodégradable, et peuvent polluer les sols, à un moment ou à un autre, ces résidus se concentrent et touchent les nappes phréatiques (TIHON, 2008). La culture du soja (dont plus de la moitié est génétiquement modifiée) est la cause principale de la déforestation de l'Amazonie, qui a progressé de 70% au Brésil. La culture du soja occupe plus de 1 million de kilomètres carrés dans le monde. Les États-Unis sont les plus gros producteurs de soja au monde, avec 34% de la production mondiale. Ce sont également les plus gros exportateurs mondiaux, avec 39,9 millions de tonnes, soit 45% des exportations mondiales de soja. Cette explosion de la production a fortement profité aux plantations d'organismes génétiquement modifiés, 70 % de la production sont aujourd'hui du soja OGM. Plusieurs questions auxquelles les chercheurs s'emploient en attaquant les problèmes sous divers angles, comme l'évaluation des effets possibles des aliments génétiquement modifiés sur la nutrition humaine. La dégradation des OGM au cours de la digestion. Quels sont les dangers potentiels, les risque d'allergie, et les effets potentiels de l'utilisation d'ADN modifié ? (ROBIN, 2008)

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

1. Matière première de l'huile végétale, les intrants et le protocole de raffinage

Les huiles brutes d'importation que nous avons récupérées de l'usine AFIA sont composées de 95% d'huile de soja et de 5% d'huile de maïs et renferment encore un certain nombre d'impuretés indésirables. Pour obtenir une huile de qualité, ces huiles nécessitent un traitement de raffinage. Ce raffinage a pour but, d'éliminer les acides gras libres, les produits d'oxydation, les arômes désagréables, les colorants, mais également les phospholipides, les métaux présents à l'état de traces et généralement liés à des composés organiques (MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989; JAMIL *et al.*, 1998). Le raffinage suit une série de traitements comprenant la démucilagination, la neutralisation, le séchage, la décoloration, la filtration et la désodorisation.

1.1. Démucilagination ou dégomme

Pour l'élimination et l'hydrolyse des Gommages à l'eau ou par des solutions acides (Acide phosphorique, ou comme pour le cas de l'usine AFIA qui utilise l'acide citrique $C_6H_8O_7$ de 30% à 90°C) (OLLIVIER *et al.*, 2005). Une petite quantité d'eau avec une grande quantité d'ions métalliques rendent les micelles dures, difficiles à éliminer. Le gonflement de ces dernières (augmentation de l'interface eau / huile) est assuré par l'ajout de l'acide citrique durant l'étape du dégomme et cela en chélatant avec les ions afin de permettre aux phospholipases d'y pénétrer (Munck, 2004).

1.2. La neutralisation

Pour empêcher l'acidification et l'oxydation, l'huile sortante de ce réacteur reçoit la solution neutralisante de soude (NaOH). Le mélange d'huile et de soude passe dans un mélangeur rapide ou un mélangeur statique avant d'être envoyé vers la centrifugeuse destinée à séparer les pâtes de neutralisation. Les acides gras libres sont neutralisés en formant des savons sodiques: $R-COOH + NaOH = RCOONa + H_2O$

(Denise, 1992). Il est possible de coupler démulcination et neutralisation. Dans ce cas, phospholipides et savons

sont séparés en une seule étape de centrifugation. Les deux opérations sont effectuées en continu à 80°C environ (COSSUT *et al.*, 2002). Une étape de séparation est effectuée dans un séparateur à 70°C afin de séparer les matières solides des liquides.

1.3. Le lavage

L'opération qui permet d'éliminer les savons et soude en excès (substances alcalines) est le lavage. L'eau de lavage doit être la plus chaude possible (90°C) (DENISE, 1992). L'huile neutre lavée est séchée pour éliminer l'humidité sous un vide de 50 à 80 mbar, pour éviter l'hydrolyse des triglycérides.

1.4. La décoloration

Pour enlever toute trace de pigment indésirable, des matières colorantes, des phospholipides, des traces de métaux lourds, et des peroxydes, l'élimination est effectuée par voie physique uniquement par des terres ou charbons adsorbants (OLLIVIER *et al.*, 2005). Pour l'usine AFIA, l'huile neutralisée est mélangée avec 17% d'acide citrique, et filtrée à l'aide de la terre décolorante qui élimine les produits d'oxydation de l'huile décolorée tels que les peroxydes, des substances inflammables et toxiques pour l'environnement.

1.5. La vaporisation (ou désodorisation)

Cette opération consiste en l'élimination des produits odorants et volatiles par injection de vapeur d'eau dans l'huile chauffée (180°C - 240°C), à basse pression (2 - 6 mbar) (FAO, 1994; OLLIVIER *et al.*, 2005) pour rendre l'huile exempte d'odeur et de goût particulier. L'huile est placée à l'abri de l'air sous azote par exemple (CHEFTEL, 1992).

Le traitement des *terres décolorantes* usagées issues des différentes étapes de raffinage est une opération importante pour la protection de l'environnement. Lorsque la récupération de l'huile par solvant n'a pas

été prévue dans le

procédé, il n'existe que peu de moyens pour se débarrasser des terres décolorantes usées, après l'avoir dégraissée et séchée, elle peut être recyclée en compost pour une éventuelle valorisation agricole, en conformité avec les dispositions environnementales réglementaires (PAGES, 1994).

2. Les différentes phases d'expérimentation

2.1. Description du site de Ouled Boudjemaa

Notre travail d'expérimentation sur champ, du compost élaboré à partir du recyclage des déchets agro-industriels des huiles, a été effectué dans la carrière-sablière de Ouled Boudjemaa (nord-ouest algérien) dépendant administrativement de la Wilaya d'Aïn-Témouchent et appartenant à l'étage bioclimatique méditerranéen du semi-aride, selon la classification d'Emberger (EMBERGER, 1954). Selon l'ONM d'Oran (Office National de la météorologie). Le taux des précipitations atteint 508,53mm (Tableau 8). Une moyenne annuelle des températures qui ne dépasse pas 21°C. Le mois le plus froid est celui de Janvier, des moyennes qui varient entre 11 et 16 °C (Tableau 9). Généralement les vents soufflent de l'Ouest et du Nord-ouest. L'eau de surface ou souterraine dans la région, est peu importante. Un sol sableux à sablo-limoneux, occupe la plus grande partie de la zone d'étude.

Tableau 8 : Précipitation en millimètre à Ain Témouchent durant la période 2005-2013

Année	2005	2006	2007	2010	2008	2009	2011	2012	2013
Janvier	24,12	48,77	14,98	119,4	26,41	99,3	58	44	133,3
Février	73,41	111,25	51,81	54,11	18,53	14,99	26	17	34,4
Mars	36,84	24,89	23,87	77,98	12,2	25,9	11	22	49,6
Avril	21,08	17,26	66,81	20,57	91,5	44,2	43	22	65,7
Mai	0,25	27,18	3,3	9,9	17,26	5 ,08	44	2	27,7
Juin	0,76	5,59	0	29,21	1,02	0	40	2	0
Juillet	0,51	0	0	2,03	8,13	0	0	4	0
Aout	0	0	1,02	5,85	0	0	2	0	2,6
Septembre	3,81	7,62	21,08	8,89	14,99	117,33	3	30	32,8
Octobre	22,1	9,15	102,12	38,86	110,23	3,05	17	42	0
Novembre	2,03	9,65	68,07	32,25	67,56	21,59	151	152	79,4
Décembre	32,76	77,46	17,27	35,29	140,7	24,65	26	38	73,4
Total	217,67	338,82	370,33	433,77	508,53	380,74	421	375	498,9

Tableau 9 : Température en °C à Ain Témouchent durant la période 2005-2013.

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Janvier	11,2	12,2	13,5	13,9	12,8	14,6	13,7	16,2	14,01
Février	11,5	12,8	15,3	14,9	13,6	15,9	13,3	11,2	12,84
Mars	14,5	15,8	15,1	15,9	15,1	15,8	15,2	14,1	16,09
Avril	17,2	18,4	16,4	18,5	17,1	18,1	17,9	16,4	16,57
Mai	21,4	20,1	20,9	19,8	20,8	20,9	20,1	15,7	19,12
Juin	24	22,6	23,3	23,2	28,3	24,1	23,4	24,4	21,13
Juillet	27,1	26,6	25,6	26,7	28,3	27,3	25,6	25,8	24,82
Aout	26,2	26,3	25,8	27,3	27,6	28,1	26,6	27,5	26,38
Septembre	23,9	24,2	23,7	24,6	23,9	25,2	24	23,6	23,74
Octobre	20,9	22,3	20,6	20,8	22,2	21	17,3	20,9	22,34
Novembre	19,6	19,3	16,8	15,3	19,4	17,1	17	16,9	15,81
Décembre	13 ,6	14,1	14	12,6	16,5	15,6	17	14,4	13,39
Moyenne	19,26	19,56	19,25	19,46	20,47	20,31	19,25	18,92	18,85





Figure 10: Carte de localisation de la zone d'étude de Ouled Boudjemaa (en rouge)
(Google MAP).

2.2. Choix de l'espèce végétale utilisée

Acacia saligna de la famille des légumineuses, présente et déjà acclimatée dans le site naturel de Terga à Ain Témouchent, a été choisi en raison de son

adaptation aux sols pauvres, secs et alcalins. De plus, sa croissance est rapide et sa biomasse importante.

2.3. Echantillonnages

1- Le prélèvement des échantillons du sol de la parcelle de Ouled Boudjemaa a été effectué à une profondeur moyenne variant de 10 à 30 cm (Pauwels *et al.*, 1992).

2- Les graines d'Acacia saligna à semer ont été récoltées à Terga donc à proximité de Ouled Boudjemaa (6 à 8 kms).

3- l'Argile ou "terre décolorante" vierge (utilisée pour le raffinage de l'huile brute) et "la terre décolorante" usée (déchets agro-industriels) ont été récupérées au niveau de l'usine AFIA installée à Hassi Ameur dans la région d'Oran.

2.4. Analyses physico-chimiques effectuées

2.4.1. Analyses physiques

-Analyse granulométrique de caractérisation de la texture selon la méthode internationale ;

-Mesure du pH (pHmètre) ;

-Mesure de la conductivité électrique (conductivimètre) ;

-Analyse par Diffractométrie de rayons X (DRX).

2.4.2. Analyses chimiques

-Dosage du calcaire total (Calcimètre Bernard) ;

-Analyse des cations Ca^+ , Na^+ et Mg^+ (Spectrophotomètre RFID) ;

-Détermination de la matière organique (Par calcination) ;

-Analyse des métaux lourds (Spectrophotomètre RFID) ;

-Dosage de l'Azote total (Par la méthode KJELDAHL).

3. Compostage et germination des graines

3.1. Préparation du composte

Les échantillons de sol et la terre décolorante ont été séchés à l'air libre pendant 1 semaine puis broyés et tamisés à un diamètre de 2 pour effectuer des analyses physico-chimiques. L'expérimentation a nécessité plusieurs mélanges de Sol - Terre décolorante à des taux d'intégration de l'Argile décolorante progressifs (0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 100%).

3.2. Germination des *Acacia saligna*

Les graines d'*Acacia saligna* sont scarifiées avec de l'acide sulfurique dilué (1/10) pendant 90 minutes, rincées plusieurs fois à l'eau distillée stérile, puis mises à germer sur milieu gélosé à 1%, à l'étuve pendant 4 jours, à 25° C.

3.3. Protocole expérimental

Pour chaque traitement, 30 pots avec leur substrat sont préparés, à raison de 3 graines/pot soit 30 plantes/traitement.

3.3.1. Culture *In Vitro*

Les pots ainsi préparés sont mis dans une chambre de culture sous 16h de photopériode et à 25° C \pm 2 pendant toute l'expérimentation. Les plantes sont arrosées par alternance avec de l'eau distillée stérile et une solution nutritive (BROUGHTON et DILWORTH, 1971). Une biomasse fraîche et sèche (80°C pendant 48) de la partie aérienne et racinaire, est déterminée à la fin de l'expérimentation d'une durée de 37 jours.

3.3.2 Culture *In Vivo*

Clicours.COM

Le même protocole est préparé dans les mêmes conditions citées précédemment, après une semaine d'acclimation en chambre de culture, les plantes sont transférées dans la sablière de Ouled Boudjema sur une parcelle protégée de 16 m². Les plantes dépotées, mises dans le sol et arrosées selon le besoin avec l'eau du robinet. Comme précédemment, une biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne et racinaire, est déterminée à la fin de l'expérimentation d'une durée de 29 jours.

4. Etude microbiologique

4.1. Etude microbiologique du sol de Ouled Boudjema et du mélange 25% argile – 75% sol

4.1.1. Echantillonnage

- 1- 100% Sol de Ouled Boudjema
- 2- Le mélange 75% Sol-25% Argile usée

4.1.2. L'analyse quantitative (Dénombrement de la flore bactérienne)

Notre objectif est la numération (ou dénombrement) des germes de la flore. Pour cela on a procédé par la technique des dilutions décimales.

4.1.3. L'analyse qualitative (par coloration du Bleu de méthylène)

Nous avons procédé à une coloration au bleu de méthylène pour une étude morphologique des colonies bactériennes.

4.2. Etude de la symbiose chez *Acacia saligna* en présence des souches bactériennes S10, S14, S24

4.2.1. Provenances des échantillons

Les souches proviennent de la région de l'Ouest Algérien à Ain Temouchent. Elles sont isolées à partir des nodules d'*Acacia saligna* cultivées sur le terrain dans le but de revégétaliser les carrières-sablières de Terga.

Les différentes souches utilisées sont S10, S14 et S24, collectionnées par le Laboratoire de Biotechnologie des Rhizobia et Amélioration des Plantes de l'université d'Oran (LBRAP), elles sont génériquement identifiées par le Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes de Montpellier en France (LSTM) (Tableau 10). Les échantillons sont conservés à -80 °C dans l'armoire de congélation.

Tableau 10 : Identification du genre et espèce des différentes souches S10, S14 et S24.

Souches	S10	S14	S24
Identification	Bradyrhizobium japonicum	Rhizobium leguminosarum	Bradyrhizobium liaoningense

4.2.2. Purification des souches bactériennes S10, S14 et S24

Dans le but de vérifier les souches bactériennes S10, S14 et S24, ces dernières sont isolées sur milieu YEM (Yeast Extract-Mannitol). Les souches ont été incubés 28 °C pendant 48h. Les Rhizobiums et les Bradyrhizobium, ont tendance à se colorer en rose, car c'est des bactéries à Gram Négatives.

4.2.3. L'inoculation de l'*Acacia saligna* par les souches bactériennes S10, S14 et S24

Après la germination des graines d'*Acacia saligna* (protocole précédemment décrit), à raison de 3 graines germées par pot qui contient du sol sableux provenant de la sablière de Ouled Boudjema. Un pot non inoculé sert de témoin. Ce sol est préalablement stérilisé deux fois de suite à 120°C pendant 2 heures, pour éliminer toute présence de micro-organismes. La culture des trois souches bactériennes S10, S14 et S24 est mise en milieu YEM liquide, leur densité sera comparée à l'œil nu, avec un tube contenant une solution de Mcfarland à 0.5% (concentration des bactérienne). Nous avons procédé à l'inoculation des plantes au cinquième jour avec 0,5 ml puis au dixième jour par 1 ml. Ces dernières sont mises dans une chambre de culture sous 16h de photopériode et à 25° C ± 2 pendant un mois. Les plantes sont arrosées par alternance avec de l'eau distillée stérile et une solution nutritive (BROUGHTON et DILWORTH, 1971).

Les plantes sont transférées dans la sablière de Ouled Boudjema sur une parcelle protégée de 4 m². Les plantes dépotées, mises dans le sol et arrosées selon le besoin avec l'eau du robinet.

Une biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne et racinaire, est déterminée à la fin de l'expérimentation d'une durée de 60 jours.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1. L'analyse du pH

L'analyse du pH a démontré que pour le sol de Ouled Boudjema, nous sommes en présence de sols alcalins avec un pH de 8,1. Un pH peu acide à presque neutre pour la terre décolorante usée (TDU) avec 6,8 et 6,7 pour la terre décolorante vierge (TDV) (Fig. 11). Le degré d'acidité ou de basicité du sol joue un rôle très important pour l'assimilation des éléments nutritifs par la plante. La terre décolorante peut influencer sur le pH du sol. La majorité des éléments nutritifs étant assimilables dans le spectre de pH compris entre 6 et 7 (DINON et GERSTMANS, 2008).

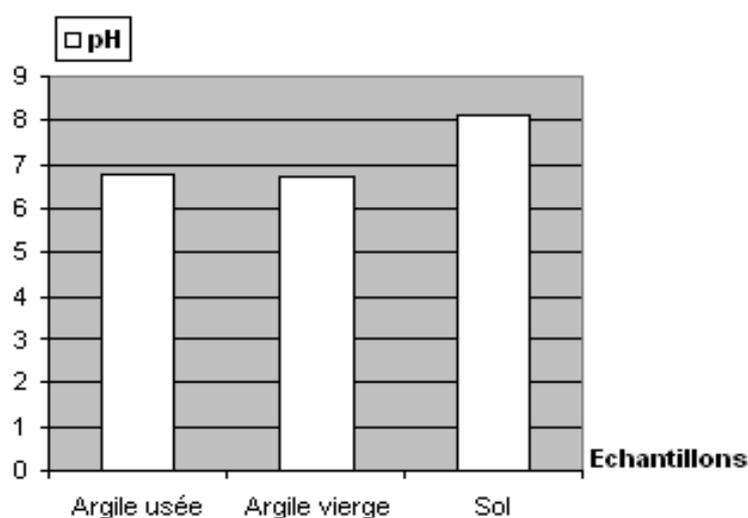


Figure 11 : Les variations du pH des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

2. L'analyse du calcaire total

L'analyse du calcaire total a signalé 20 % pour le sol de Ouled boudjema, aucune trace pour les terres décolorantes vierges et usées (Argile minérale) (Fig. 12).

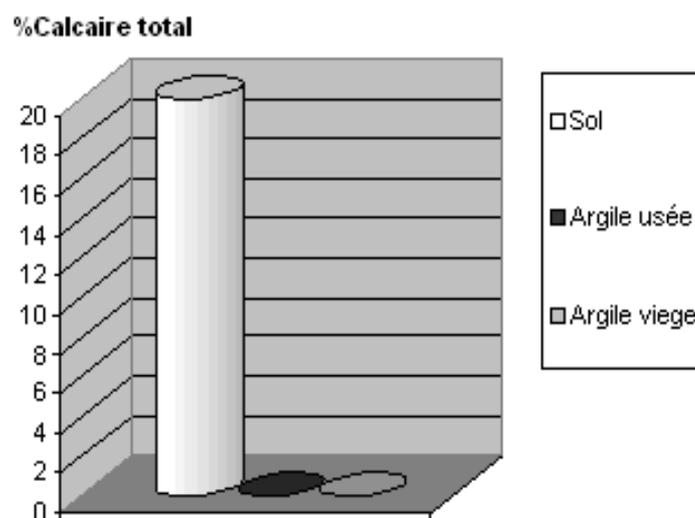


Figure 12 : Les pourcentages du calcaire total des échantillons du sol, argile usée et vierge.

3. L'analyse de l'humidité

Un taux d'humidité élevé qui est de 7% pour la terre décolorante usée, assez humide au toucher puisque elle a été utilisée au raffinage, 3% pour la vierge, et 2% pour le sol (Fig. 13).

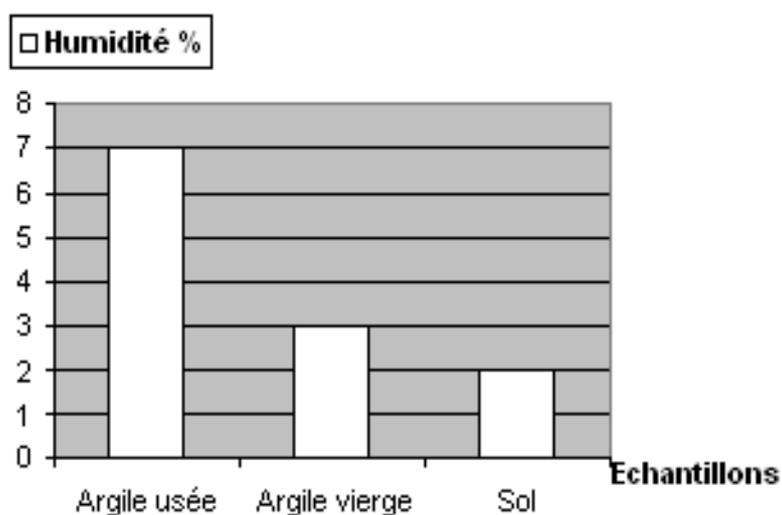


Figure 13 : Les pourcentages d'humidité des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

4. L'analyse de la conductivité

L'analyse de la conductivité prouve que la valeur de la charge électrique des ions dans la terre décolorante est largement supérieure à celle du sol de Ouled Boudjema (Fig. 14). Avec 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le sol, 8900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la terre décolorante usée et 5600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la vierge à 25°C. En effet, la somme des taux du sodium, calcium, magnésium est plus importante dans la terre décolorante usée et vierge que celle du sol (Fig. 16, 17 et 18).

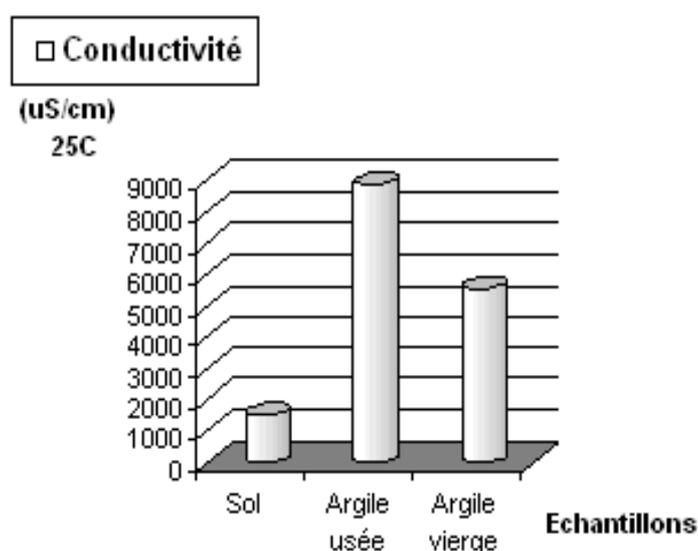


Figure 14 : La conductivité électrique des échantillons sol, argile usée et vierge.

4.1. L'analyse du Sodium

Le sodium est présent sous forme d'ion Na^+ , il joue le rôle d'élément fertilisant secondaire par rapport à l'azote; avec 4,6% pour la terre décolorante usée, 4,1% pour la terre décolorante vierge, et 2,4% pour le sol (Fig. 15). Un amendement au sodium à un effet positif sur le rendement et la qualité sanitaire des plantes. Le sodium favorise la formation de fructose et sa transformation en glucose, règle la pression osmotique des cellules végétales et conduit à une utilisation plus efficace de l'eau (MOHSEN ; CAGNAC *et al.*, 2009).

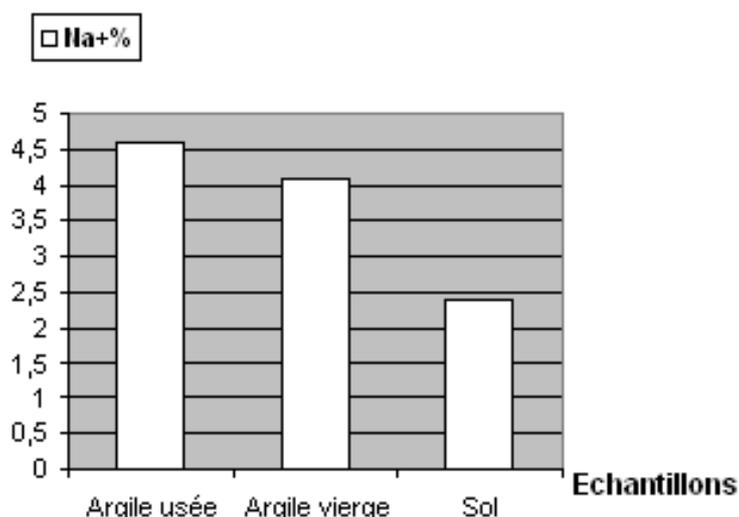


Figure 15 : Les pourcentages du Na⁺ des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

4.2. L'analyse du Calcium

Le calcium fait partie des éléments minéraux essentiels à la croissance d'une plante. Avec 368 ppm pour la terre décolorante usée, 120 ppm pour la vierge, et 68 ppm pour le sol largement inférieur (Fig. 16). Le calcium a un rôle important aussi dans la constitution des tissus végétaux et permet aux plantes de mieux se développer. Il augmente la résistance des tissus végétaux, permet un développement des racines, une meilleure tenue de la tige, et une meilleure résistance aux agressions extérieures. (KIRKBY et PILIBEAM, 1984).

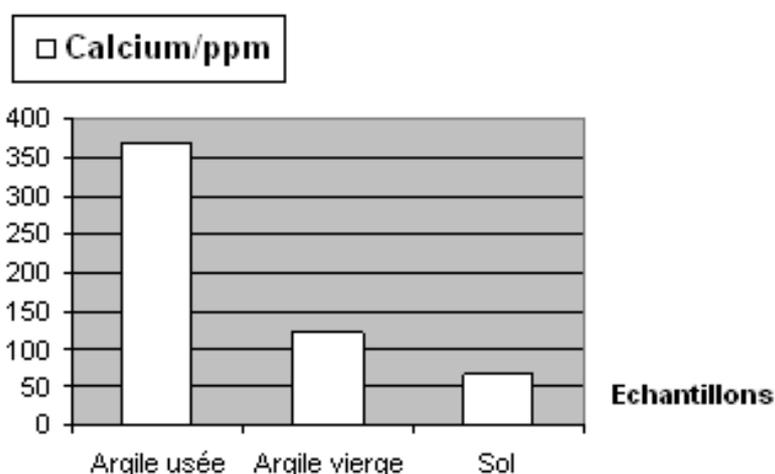


Figure 16 : Les taux du calcium des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

4.3. L'analyse du Magnésium

Tout comme le calcium, sans source de magnésium disponible, la plante ne peut se développer du fait des rôles multiples du magnésium (MARSCHNER, 1986). Avec 290 ppm pour la terre décolorante usée, 240 ppm pour la vierge, et 307 ppm pour le sol (Fig. 17) les valeurs du calcium révèlent la présence d'un élément nutritif indispensable à la croissance des plantes. Cet élément a un rôle majeur dans la constitution de la chlorophylle, base de la photosynthèse, et la synthèse des acides aminés et protéines cellulaires (ISMAIL *et al.*, 2010).

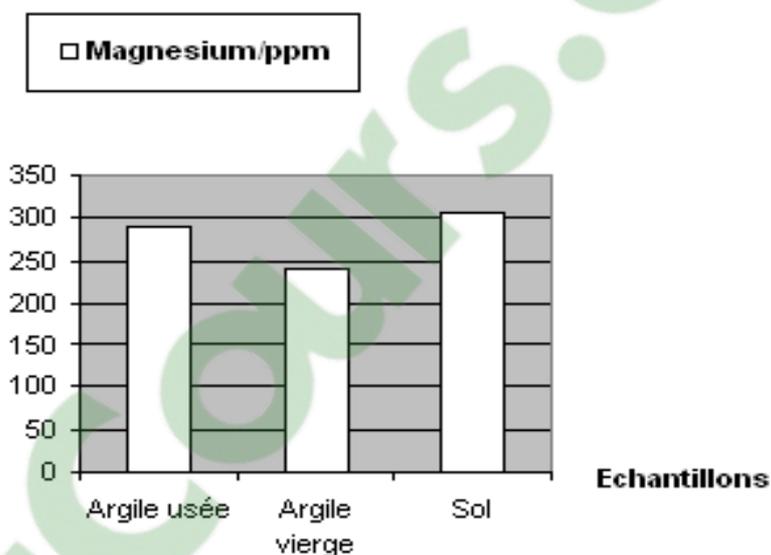


Figure 17 : Les taux du magnésium des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

5. Matière organique

Avec 2,39%, le sol de Ouled Boudjemaa est faible en matière organique, largement inférieur à celui de la terre décolorante vierge et usée. L'argile est composée essentiellement d'aluminiums, de silices et de molécules d'eau. L'eau qui constitue cette argile a été calcinée à 550 °C qui représente 9,3% de matière organique a été fixée par la terre décolorante (Fig. 18), une source de nutriments et accessoirement de molécules humiques, capables de former des agrégats stables avec l'argile présente dans le sol. Les micro-organismes du sol libèrent du CO₂ dans l'atmosphère. Le carbone qui n'est pas libéré dans l'atmosphère est indispensable à la plante, il forme des molécules d'humus qui

participent à la structure physique du sol, tant qu'il n'est pas lessivé vers la nappe phréatique. (HUBER et SCHAUB, 2011).

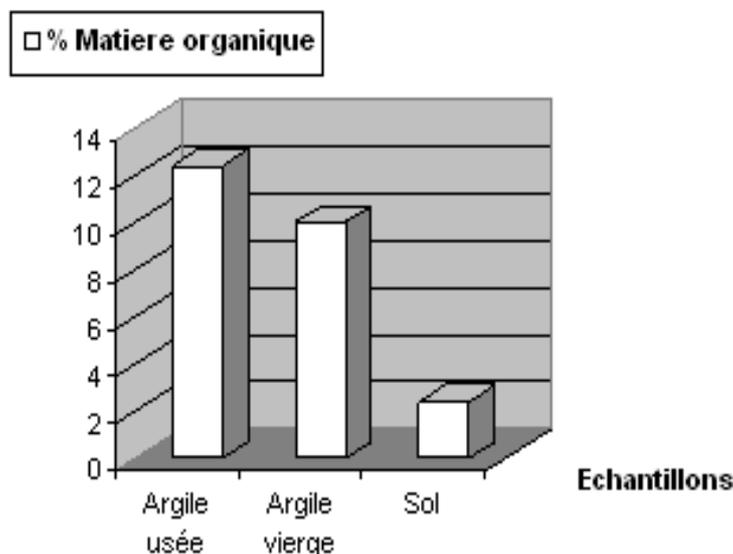


Figure 18 : Les pourcentages de matière organique des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

6. L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique (Fig. 19) a permis de classer les différentes granulométries et leurs pourcentages constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis (FIES et STENGEL, 1984). Le sol de Ouled Boudjema est constitué de 80% de sable fin, 12% de sable grossier, 2,85% de limon fin, 2% de limon grossier et 3,15% d'argile. Cette analyse ne permettant pas de déterminer la nature granulométrique de la terre décolorante, contrairement à la DRX (Diffractométrie de rayons X).

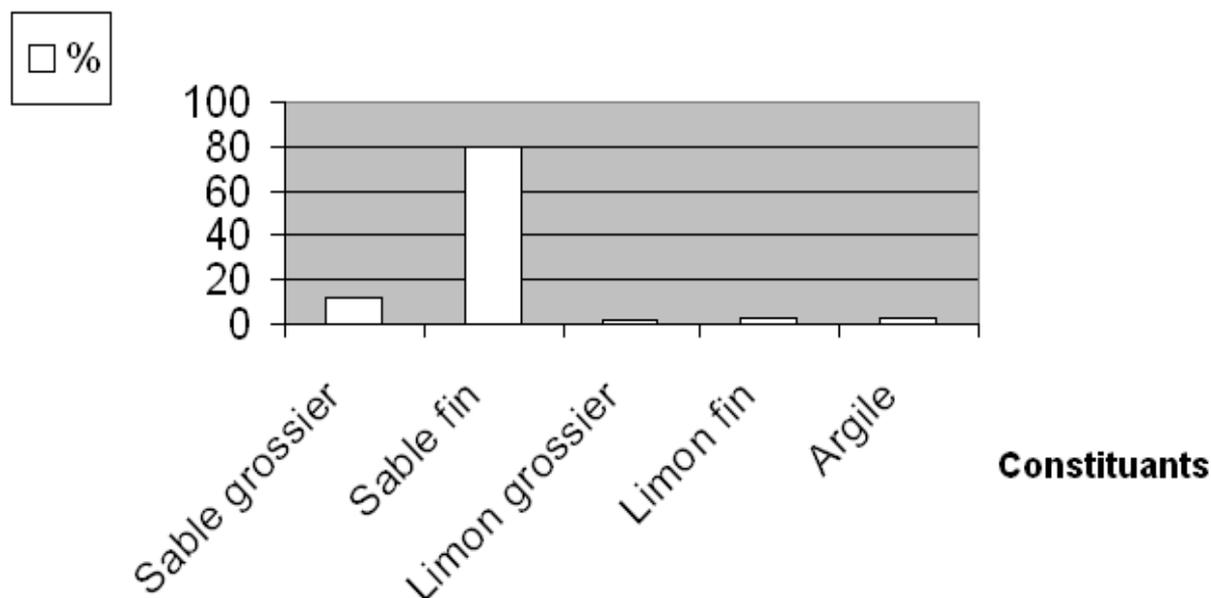


Figure 19 : Analyse granulométrique du sol.

7. L'analyse de la DRX (Diffraction de rayons X)

Afin de mieux comprendre la nature de la terre décolorante, une analyse par diffraction de rayons X a été réalisée (Fig.20) et qui a révélé que :

- C'est une argile purifiée enrichie par l'oxyde de Fer qui lui confère un pouvoir décolorant important. (RIGHI et ELSASS, 1996). Si l'on compare les deux spectres de la terre décolorante vierge (en noir) et la terre décolorante usée (en rouge), on y distingue une augmentation de la distance inter-foliaire (d) dans les pics propres à la montmorillonite et l'illite (minéraux argileux silicatés). L'argile vierge contient une $d_{max}=20,06$ inférieure à celle de l'argile usée qui comprend une $d_{max}=47,33$. Preuve que la décoloration (purification de l'huile de table) et l'adsorption sont efficaces.

- Cette argile permet d'adsorber les colorants des huiles d'une manière particulière. L'argile est activée par la silice qui lui confère un fort pouvoir absorbant sur les savons, les phospholipides et les acides gras libres.

- Ces résultats révèlent aussi la présence de minéraux argileux et de phases cristallines essentiellement sous forme de quartz, calcite et cristobalite.

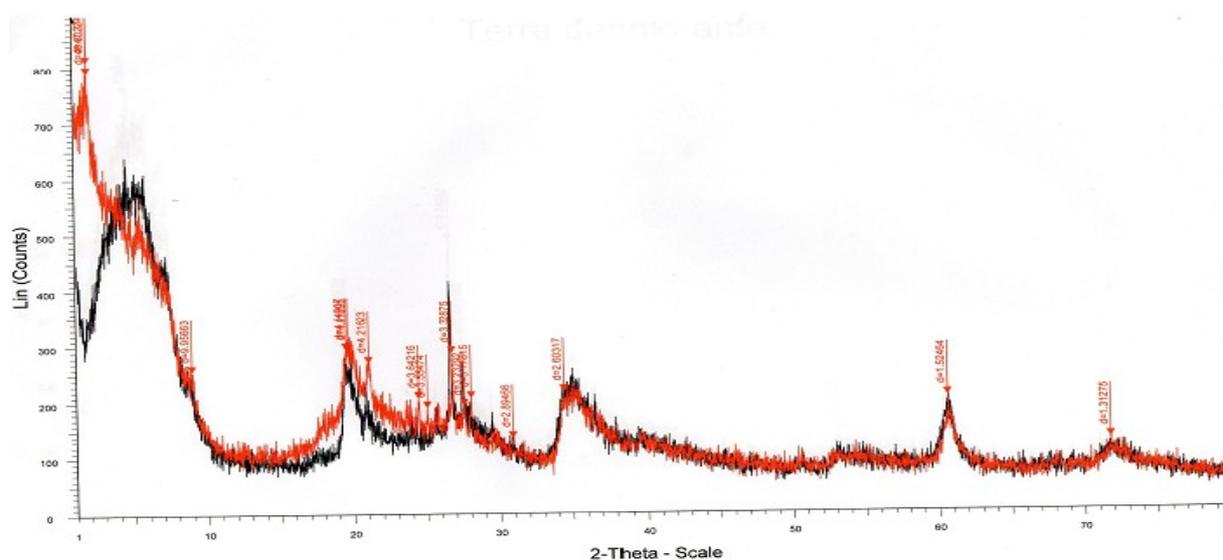


Figure 20: Analyse de la DRX de la terre décolorante vierge (en noir) et usée (en rouge).

8. L'expérimentation In-Vitro et In-Vivo du compost

Les résultats de l'expérimentation des mélanges ont démontré que le mélange 75%Sol-25%Terre décolorante usée a donné la meilleure moyenne de la biomasse avec un poids frais de 0,118 g *In Vitro* (Fig. 21), et 0,097 g *In Vivo* (Fig.22). L'argile usée a joué le rôle d'un compost (Figures 23 et 24), et a favorisé la croissance des plantes. Cette argile participe à fixer l'eau par adsorption à sa surface et augmente le volume par gonflement. Elle constitue ainsi une réserve supplémentaire d'eau. Les argiles ont des propriétés particulières qui sont dues à leur très petite taille, à leur structure en feuillets et à la charge négative qu'elles portent (CAMAYOU et LEGROS, 1989). Elles forment des colloïdes, des solutions colloïdales complexes qui flocculent, lorsque les charges de surface des particules sont neutralisées par des cations.

Ce phénomène est réversible, alors les particules retrouvent leur état dispersé, lorsque les cations sont éliminés par rinçage.

Les argiles confèrent au sol, sa structure et ses propriétés mécaniques. Elles sont associées aux autres composants et constituent les complexes argilo-humiques (ou organo-minéraux) (CERETIEN et TESSIER, 1988), ce qui donne au sol ses qualités agronomiques: bonne aération entre les agrégats, bonne perméabilité à l'air et à l'eau. Les sols dont les argiles sont dispersées,

présentent des caractères défavorables à la culture: mauvais état structural, mauvaise circulation de l'air et de l'eau (BRONSWIJK, 1989).

Nous avons remarqué qu'à partir d'un certain seuil (mélange comprenant 50% d'argile usée), elle devient asphyxiante pour la plante, ce qui provoque la baisse de croissance In-Vivo et In-vitro. Les échanges entre les plantes et le sol dépendent très largement de la qualité de floculation des complexes argilo-humiques. Cette floculation des complexes entraîne l'agglomération des autres constituants fins du sol (limon, sable). Le degré de floculation est d'autant plus important qu'il met en jeu des cations de grande taille avec un défaut important de charges. Les cations Al^{+++} , Fe^{+++} , Ca^{++} , Mn^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} permettent des floculations plus solides que les ions K^+ , Na^+ ... L'ion H^+ confère, en outre, une réaction d'autant plus acide aux sols lorsqu'il est en forte concentration (Bonnot et Renault, 1982).

Poids /g

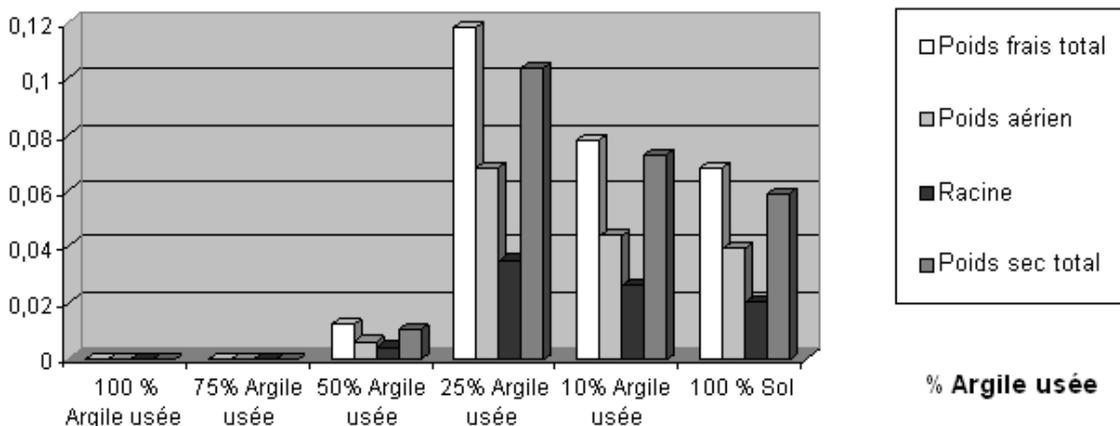


Figure 21 : La moyenne de la biomasse par rapport au pourcentage d'argile

usée In vitro.

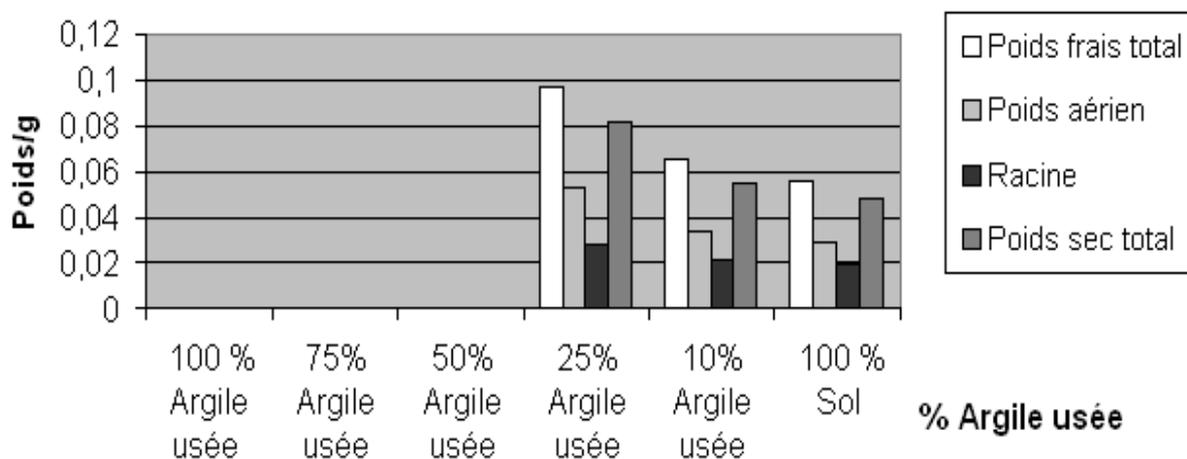


Figure 22 : La moyenne de la biomasse par rapport au pourcentage d'argile usée In Vivo

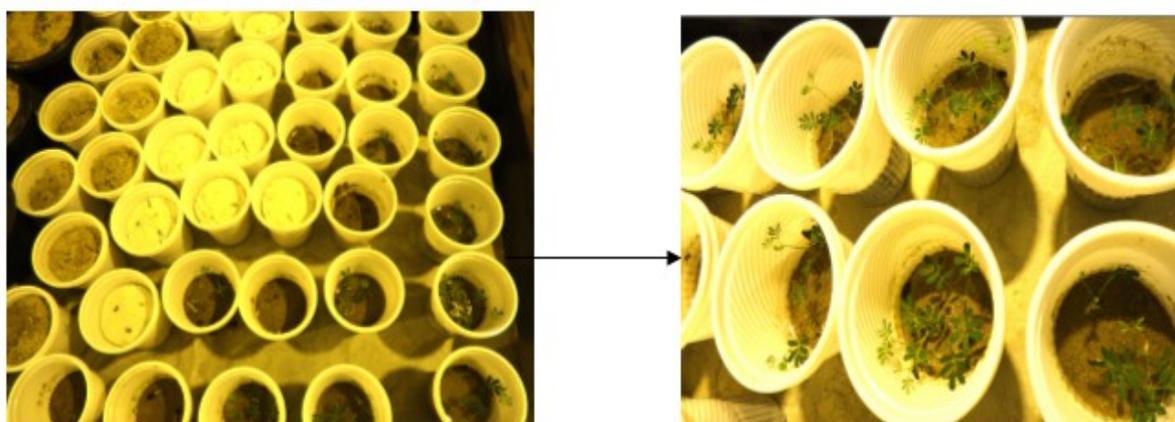


Figure 23: Croissance des plantes dans le mélange 75%Sol - 25%Argile usée In Vitro (37 jours).

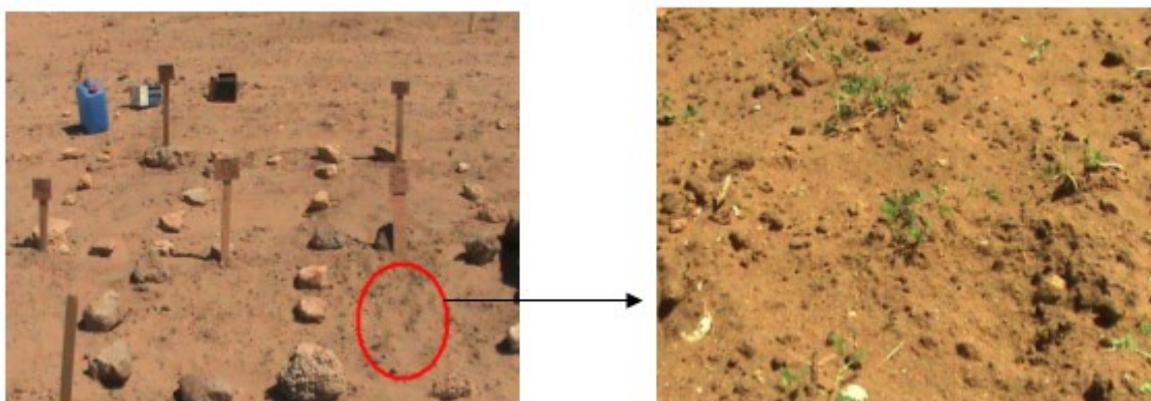


Figure 24: Croissance des plantes dans le mélange 75%Sol - 25%Argile usée *In Vivo* (29 jours).

9. L'analyse des métaux lourds

L'analyse par spectrophotomètre révèle la présence de certains métaux lourds (Fig. 25).

En 1971, un groupe d'experts désigné par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) s'est réuni à Genève pour mettre à exécution, un programme d'élaboration des limites admissibles, internationalement admises concernant, les teneurs en métaux lourds, en vue d'une meilleure préservation de l'environnement et surtout de la santé des personnes exposées. Ainsi, des seuils limites ont été communément définis :

Dans une eau potable, la concentration maximale admissible pour le mercure est de 1 $\mu\text{g/L}$; 5 $\mu\text{g/L}$ pour le cadmium ; 50 $\mu\text{g/L}$ pour le chrome, le plomb et l'arsenic. 10 $\mu\text{g/L}$ pour le sélénium et l'antimoine, et 50 $\mu\text{g/L}$ pour le cuivre. L'OMS signale que ces métaux lourds sont très toxiques, et que leur excès dans l'environnement peut nuire à la santé des personnes. Les sels de plomb tels que l'arséniate ou le chromate peuvent être cancérigènes.

L'expérimentation animale a montré que plusieurs dérivés du plomb provoquent chez plusieurs espèces des tumeurs bénignes ou malignes.

Le journal officiel de la République Algérienne dans son n°51 (20/08/2000), précise, que pour une eau minérale naturelle, la concentration maximale

admissible pour le mercure est de 1 µg/L, 3 µg/L pour le cadmium, 50 µg/L pour le chrome et l'arsenic, 10 µg/L pour le plomb, 50 µg/L pour le sélénium, 5µg/L l'antimoine et 1000µg/L pour le cuivre.

Selon nos résultats, on trouve 1,055 mg /Kg de plomb dans le sol, inférieur donc à celui de la terre décolorante usée, qui est de 1,325 mg /Kg, 1,212 mg /Kg pour la vierge. Le taux du métal le plus élevé est celui du sélénium, soit 1,135 mg /Kg dans le sol, 2,214 mg /Kg pour la terre décolorante usée et 1,981 mg /Kg pour la vierge. Le taux de ces derniers est plus abondant dans l'argile usée, que dans les autres échantillons, ce qui prouve que l'argile vierge comportant la montmorillonite (utilisée dans le protocole industriel de raffinage de l'huile brute), a bien fixé ces métaux (KRAEPIEL *et al.*, 1999).

Selon les résultats obtenus, le sol contient 0,336 mg /Kg d'antimoine, 1,214 mg /Kg dans la terre décolorante usée, et 1 mg /Kg pour la vierge.

L'antimoine est présent dans la lithosphère sous forme de sulfures d'antimoine, d'antimonides métalliques ou d'oxydes d'antimoine (EDWARDS *et al.*, 1995). Plusieurs auteurs sont d'accord pour reconnaître que le comportement géochimique de l'antimoine dans les sols reste peu connu, tout en le rapprochant de celui de l'arsenic (ADRIANO, 1986 ; ATSDR, 1992 ; Pendas, 1992 ; Edwards *et al.*, 1995). L'antimoine forme des composés anioniques et son adsorption est plus importante dans des conditions faiblement acides. Cette adsorption est corrélée avec les teneurs en fer, manganèse et aluminium des sols dans la mesure où l'antimoine précipite avec les hydroxydes de ces éléments (ATSDR, 1992).

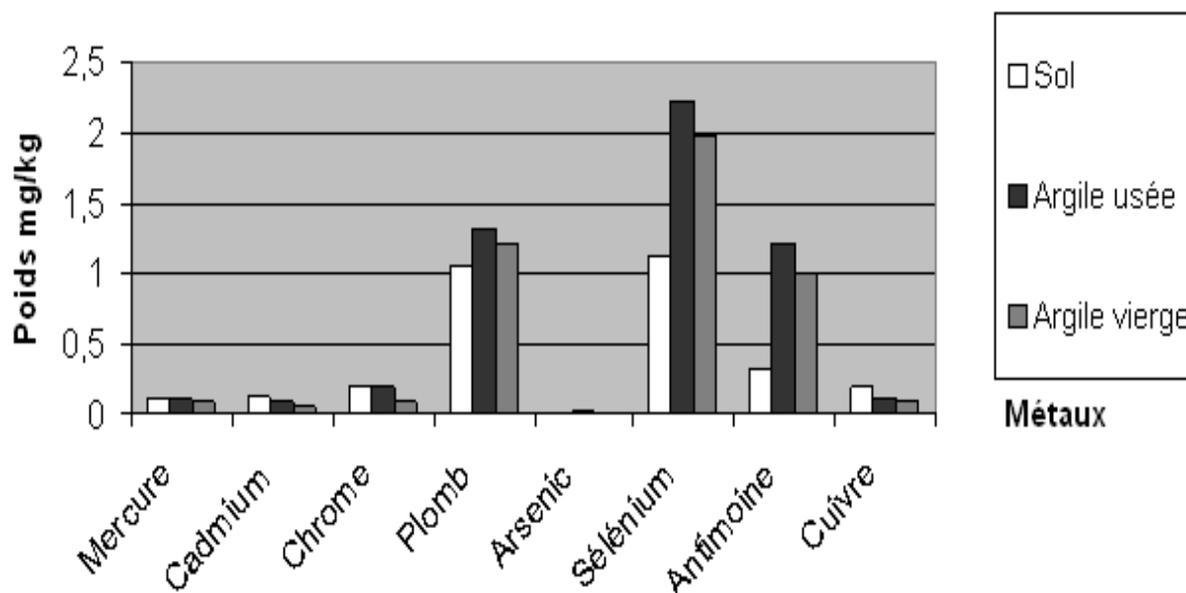


Figure 25 : Les taux des métaux lourds des échantillons du sol, argile usée et vierge.

10. L'analyse de l'azote total

Aucune présence nodulaire n'a été révélée au niveau de la racine pendant l'expérimentation. Preuve que le sol de Ouled Boudjemaa est très pauvre en microorganismes. Le pourcentage de l'azote total dans la terre décolorante vierge ou utilisée est très faible (Fig. 26); ce qui n'est pas favorable à la plante.

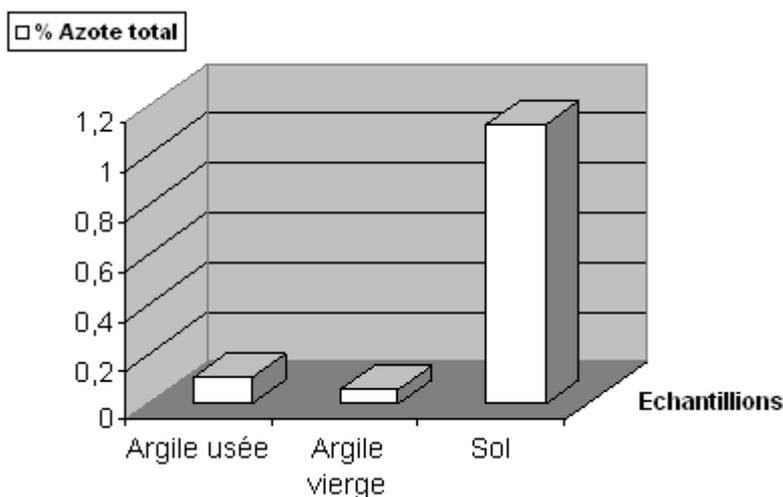


Figure 26 : Les pourcentages d'azote total des échantillons d'argile usée, vierge et sol.

11. Etude microbiologique

11.1. Etude microbiologique du sol de Ouled Boudjema et le mélange 75%sol - 25% argile usée

11.1.1. L'analyse quantitative (Dénombrement)

- Après 48h d'incubation à 28 °C, les premières dilutions de l'échantillon 100%Sol restent indénombrables. Ce n'est qu'à partir de 10^{-6} qu'on a pu obtenir une moyenne de 32 colonies pour l'échantillon 100%Sol. Même après l'ajout de 25% d'argile (terre décolorante usée), le résultat est presque identique; 30 colonies (UFC) (Tableau 11).

Tableau 11 : La moyenne des colonies bactériennes (UFC) des deux échantillons 100% sol, mélange 75% Sol-25% argile par rapport à la dilution.

Dilution	100 % Sol (UFC)	75 % Sol – 25 % Argile (UFC)
10^{-0}	Indénombrable	Indénombrable
10^{-1}	Indénombrable	Indénombrable
10^{-2}	Indénombrable	Indénombrable

10^{-3}	Indénombrable	Indénombrable
10^{-4}	Supérieur à 100	Supérieur à 100
10^{-5}	Supérieur à 100	Supérieur à 100
10^{-6}	32	30
Total	32×10^6	30×10^6

11.1.2. L'analyse qualitative

11.1.2.1. L'aspect Macroscopique

Le premier caractère important dans la description des colonies est sa forme générale. L'aspect macroscopique des souches, sous une loupe optique, définit la présence de nombreuses espèces bactériennes sous différentes formes. La plus fréquente formant des colonies rondes. Cependant d'autres donnent des colonies, aux formes plus ou moins variées ; des colonies qui portent un contour à bords réguliers, alors que d'autres irréguliers, certaines sont sous forme d'étoile. 2 types de reliefs sont observés ; bombée et plate. La taille des colonies varie ; Colonies punctiformes (colonies à peine visibles, dont la taille est inférieure au millimètre), Petites colonies (colonies dont le diamètre est compris entre 1 et 2 mm), Colonies moyennes (colonies dont le diamètre est compris entre 3 et 5 mm), grosses colonies (colonies dont le diamètre est supérieur à 5 mm). La surface d'une colonie bactérienne peut changer d'un repiquage à l'autre. On distingue des colonies lisses et des colonies rugueuses. Un des derniers points importants, est la couleur des colonies. Celles-ci sont naturelles de couleur blanche et jaune, on y trouve

des pigments non diffusibles (seule la colonie est colorée) puisque aucun colorant ou un indicateur de pH n'est présent dans le milieu (Figure 27-28).



Figure 27 : Croissance des bactéries du mélange 75%sol-25%argile (dilution 10^{-6})



Figure 28 : Croissance des bactéries du sol de Ouled Boudjema (dilution 10^{-6})

11.1.2.2. L'aspect microscopique des bactéries

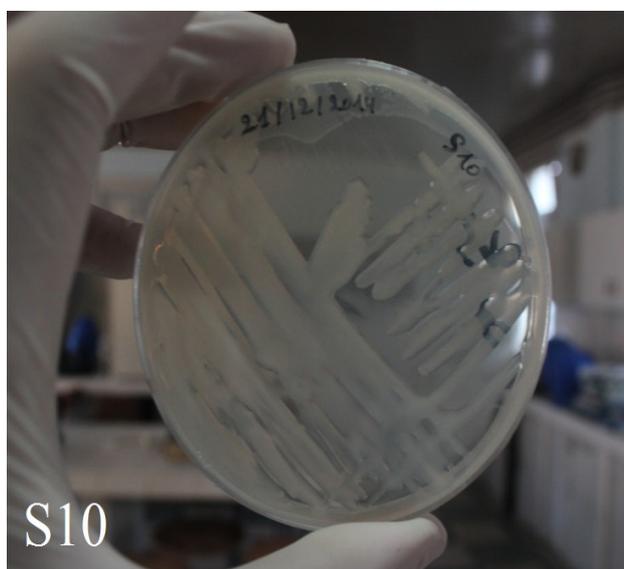
Parmi les avantages de la coloration du Bleu de méthylène, c'est qu'elle est rapide, permet d'apprécier la morphologie des bactéries. Son échec est peu possible. Mais elle ne permet pas de différencier les bactéries de même morphologie. A l'échelle microscopique, on distingue la forme des bactéries, cependant on observe :

- La morphologie des bactéries: bacilles, coques, filamenteuses
- Leur mode de groupement: certaines sont isolées, d'autres en amas, très peu en chaînettes.

11.2. Etude de la symbiose chez *Acacia saligna* en présence des souches bactériennes S10, S14, S24

11.2.1. Purification des souches bactériennes S10, S14 et S24

Après l'isolement des bactéries qui a été fait sur un milieu YEM (Yeast Extract-Mannitol) incubées à 28 °C, chaque cellule isolée est alors potentiellement susceptible de conduire à une colonie. Les colonies sont muqueuses de couleur blanche. Les souches S10 et S24 ont une croissance lente, alors que celle de S14 est rapide (Figure 29).



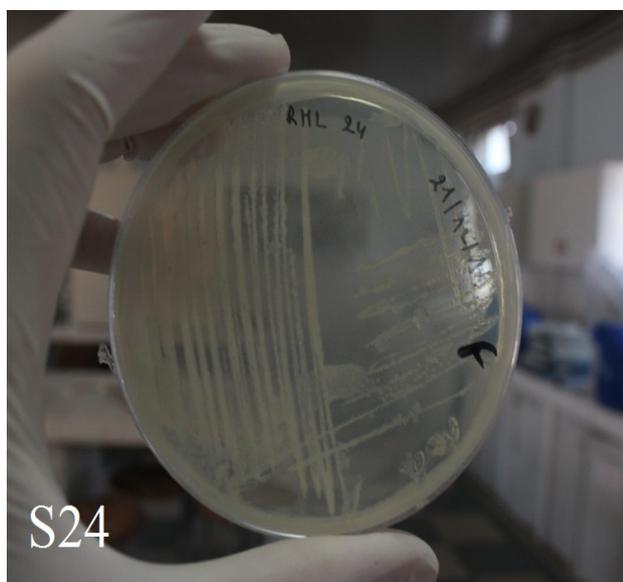


Figure 29 : Croissance des souches bactériennes S10, S14 et S24 sur milieu YEM après 48h.

11.2.2. Coloration de Gram

Les souches S10, S14 et S24 apparaissent au microscope optique sous forme coco-bacille de couleur rose dites Gram négatives (Figure 30). Le violet de gentiane se fixe sur les composants cytoplasmiques de toutes les bactéries grâce au Lugol. Le cytoplasme des bactéries Gram négatives sera décoloré par l'alcool qui élimine le violet de gentiane, ces bactéries possèdent une paroi pauvre en peptidoglycanes (paroi fine), ces derniers apparaîtront de couleur rose au microscope optique grâce à la Fuchsine, contrairement aux bactéries dites Gram positives, composées d'une couche de peptidoglycanes, plus importantes imperméables à l'alcool. Elles resteront alors de couleur violette.

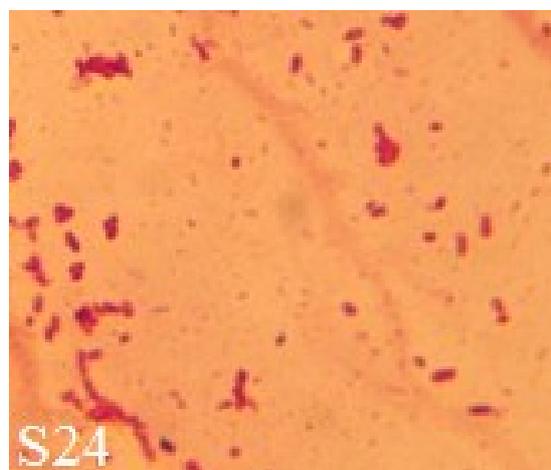
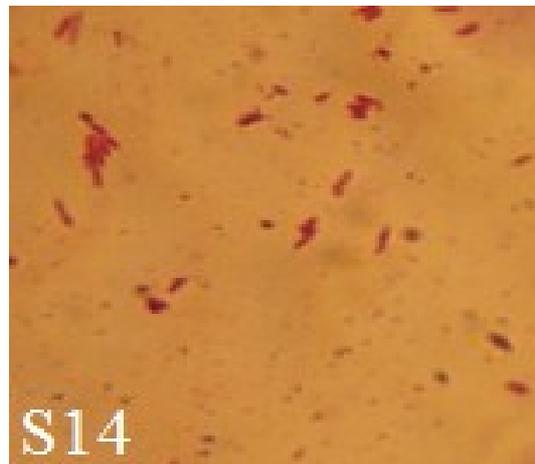
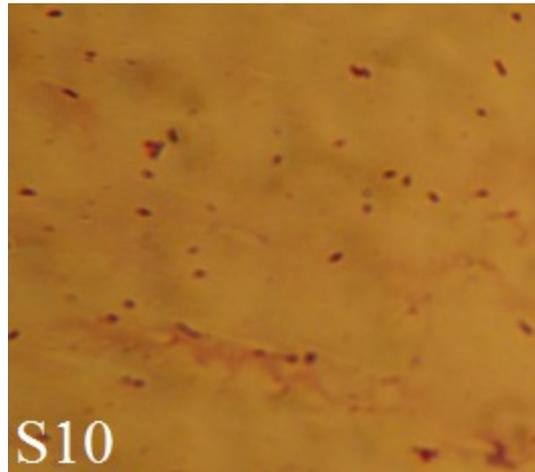


Figure 30 : Coloration de Gram des souches S10, S14 et S24 au microscope optique

(Grossissement $\times 1200$)

11.2.3. Résultats de l'inoculation de *l'Acacia Saligna* par les souches S10, S14 et S24

48 après l'incubation des souches S10, S14 et S24 à 28 °C dans le milieu YEM liquide, la densité des 3 souches est comparée à un tubes qui contient une solution de Mcfarland à 5%. Toutes les bactéries ont eu une croissance rapide. Toutes les plantes ont poussées. Aucune mortalité n'a été signalée In Vitro (Figure 31).

Après 60 jours, les plantes ont poussée In Vivo (Figure32), elles sont récoltées et pesées. Leurs nodules sont comptés et présentés dans le tableau N° 12. Les résultats de l'inoculation de *l'Acacia saligna* ont démontrés que les souches S10, S14 et S24 sont bien rentrées en symbiose avec la plante (Figure 33). Pour les 10 pots, la souche S10 (*Bradyrhizobium japonicum*) a donné 214 nodules, 323 pour la souche S14 (*Rhizobium leguminosarum*) et 263 pour la souche S24 (*Bradyrhizobium liaoningense*). La souche S14 reste non seulement la souche la plus nodulante, mais aussi celle qui a donné la meilleure moyenne de biomasse avec un poids frais total de 0,215 (Figure 34), meilleur que celui obtenu avec le mélange 75%Sol-25%Argile. Quelques mortalités se sont manifestées à cause de certains facteurs tels que les vents, le taux de précipitations et l'ensoleillement.



Figure 31 : Croissance des plantes d'*Acacia saligna* inoculées par la souche S10, S14 et S24
In Vitro (30 jours).



Figure 32 : Croissance des plantes d'*Acacia saligna* inoculées par la souche S14 *In Vivo*
(60 jours).

Tableau 12 : Le nombre des nodules dans chaque pots par rapport aux souches S10, S14 et S24.

Pots	S10	S14	S24
Témoin	0	0	0
2	39	45	Mortalité
3	20	37	35
4	Mortalité	43	29
5	17	29	40
6	Mortalité	56	33
7	41	21	45
8	37	48	23
9	28	Mortalité	36
10	32	44	22
Total	214	323	263





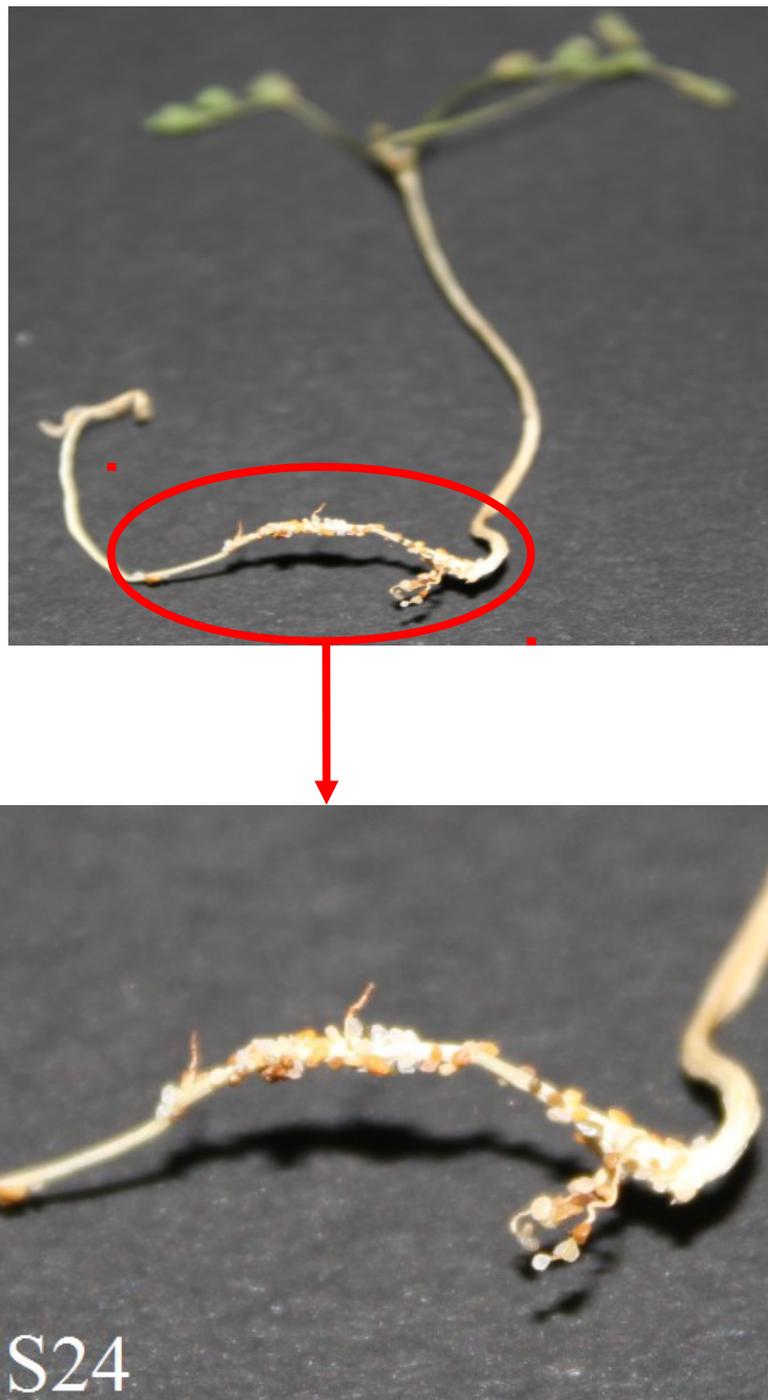


Figure 33 : Nodulation de l'*Acacia saligna* par la souche S10, S14 et S24 (60 jours).

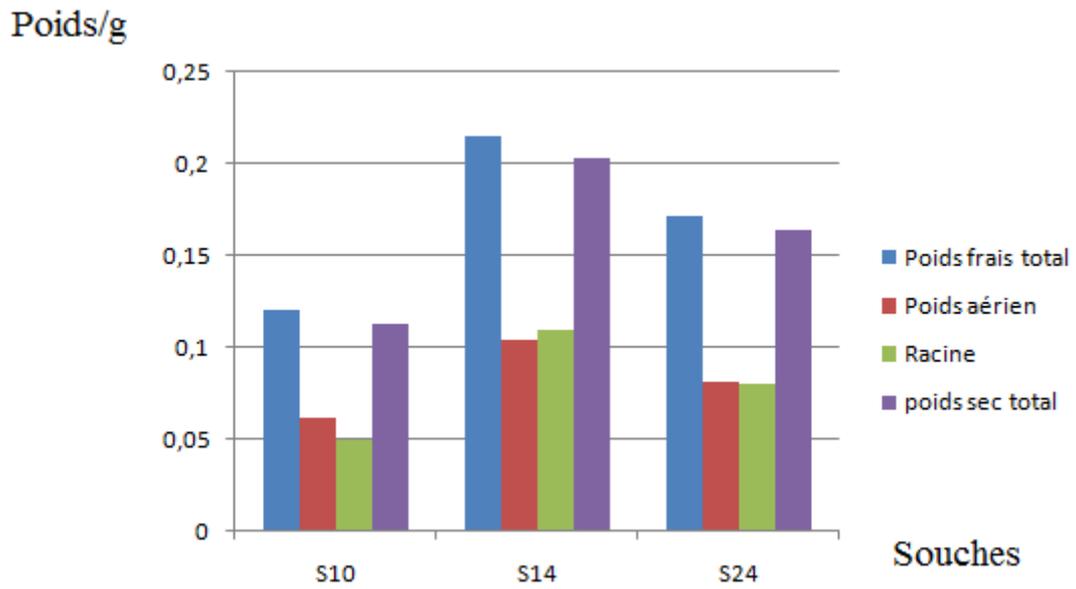


Figure 34 : Histogramme de la moyenne de la biomasse d'*Acacia saligna* par rapport aux souches S10, S14 et S24 *In Vivo*.

CONCLUSION GENERALE

La grande majorité des réactions dans les sols sont extrêmement complexes, comme ils sont composés de silicates, dont la complexité varie du simple oxyde de silicium, le quartz, au très complexe silicate d'aluminium hydraté, présent dans les sols argileux. Avec leur capacité d'adsorption, c'est-à-dire par le pouvoir de fixation des ions minéraux sur les colloïdes, due à des charges électriques. Les colloïdes électronégatifs constituent le complexe adsorbant qui attire des molécules, en particulier les cations métalliques. Cette possibilité d'échange dépendant de la teneur du sol en colloïdes et de la quantité de cations disponibles. Elles déterminent sa fertilité naturelle et c'est grâce à ces propriétés que l'on peut améliorer le sol en utilisant des fertilisants qui enrichissent la quantité de bases échangeables. Parmi les inconvénients du mélange 75%Sol-25% Argile, en chambre de culture, aucune plante, en condition *In Vitro* n'a dépassé 37 jours. Même phénomène pour l'expérimentation sur le champ. Aussi, aucune plante élevée en milieu *In Vivo* n'a dépassé 29 jours.

Les caractères biologiques des sols dépendent de la matière organique. Le terme général qui désigne le mélange complexe de matières organiques dans le sol est l'humus. L'humus n'est pas un mélange stable de produits chimiques, mais plutôt un mélange variable dynamique représentant toutes les étapes de la décomposition d'une matière organique, de la plus simple à la plus complexe, notre sol est pauvre en matière organique ; 2,39 %, inférieur celui de la terre décolorante usée qui est de 3 %, cette argile joue un rôle important pour le maintien et le développement de la structure du sol, mais aussi pour la croissance des plantes, la quantité d'eau retenue dépend de la taille et de la disposition des pores du sol. Dans les sols meubles à gros grains, l'eau a tendance à être drainée par la gravité, laissant un faible résidu. Les sols à texture fine sont plus poreux, et retiennent par conséquent des quantités d'eau plus importantes que les sols à texture plus grossière. L'eau migre et est stockée selon la dimension des pores,

l'eau retenue par le sol, une fois l'excès drainé par la gravité, est disponible pour les plantes.

Le processus de décomposition est causé par l'action d'un grand nombre de bactéries microscopiques et de champignons. Ces micro-organismes, dans le cycle de la nutrition, attaquent et digèrent les composants organiques complexes qui constituent la matière vivante et les réduisent en composants simples pour que les plantes puissent s'en nourrir, toutefois, de nos jours, la contamination possible par les métaux lourds des nappes phréatiques et du milieu naturel reste trop préoccupante.

Les pollutions urbaine, industrielle et agricole représentent les trois causes essentielles de la pollution de l'eau. Les caractéristiques des eaux usées industrielles peuvent varier selon leur origine. L'impact des rejets industriels sur la qualité de l'eau est en fonction de leur affinité avec l'oxygène et de leurs teneurs en substances organiques et inorganiques, (essentiellement les substances organiques dont la décomposition entraîne un épuisement de l'oxygène) les engrais, les produits chimiques organiques, notamment les pesticides. La pollution de l'eau peut avoir des conséquences graves. Les nitrates (sels de l'acide nitrique) existants dans l'eau potable peuvent être la cause de maladies mortelles chez les l'homme.

La quantité des peroxydes fixés dans la *Terre décolorante* mélangée avec de l'acide citrique accélère la mortalité des plantes, elles sont très sensibles aussi aux métaux lourds (PRABHA et al., 2007), ce qui prouve la toxicité des déchets agroalimentaires et leur dangerosité et gravité concernant leur accumulation progressive dans l'environnement (ALLOWAY, 1995).

Les métaux lourds présents dans la terre décolorante usée sont susceptibles d'être stockés par les plantes cultivées. La consommation ultérieure de ces végétaux peut provoquer des troubles de santé et des maladies. Cette persistance dans l'environnement des métaux lourds tels que le plomb, le cadmium et le mercure peut se répercuter au niveau de la chaîne alimentaire en général et, à long terme, sur la santé des êtres humains

et des animaux. Ces métaux ne peuvent pas être biodégradés. Cette étude a ouvert plusieurs pistes de recherche et a laissé de nombreuses questions et préoccupations nécessaires à préciser. L'inconvénient est que, l'utilisation de ce compost

(Terre décolorante) n'est profitable ni pour la réhabilitation des sols de carrières, ni pour une utilisation agricole quelconque. Pour compléter ce travail, il serait intéressant de voir les possibilités d'utilisation comme compost d'amendement des sols pauvres en capacité d'échange et en argile, cependant après un conditionnement et un contrôle adéquats, qui prendraient en compte l'abaissement des seuils tolérés en métaux lourds. Cette argile usée peut en effet constituer après un rigoureux conditionnement, selon un protocole innovant de recyclage, un éventuel compost. Entre autres, par le biais de certaines plantes adaptées et résistantes, qui ont la capacité de remédiation des sols par absorption des métaux lourds tels que le radis (*Raphanus sativus* de la famille *Brassicacées*). Par ailleurs, l'association Plante-microorganismes, reste la solution la plus adaptée, non seulement d'un point de vue économique, mais aussi écologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- Adriano D.C. (1986) - Trace elements in the terrestrial environment New York (USA), Springer-Verlag.
- Akhter, J., K. Mahmood, M.A. Tasneem, K.A. Malik, M.H. Naqvi, F. Hussain and R. Serraj 2005. Water-use efficiency and carbon isotope discrimination of *Acacia ampliceps* and *Eucalyptus camaldulensis* at different soil moisture regimes under semi-arid conditions. *Biologia Plantarum*. 49 (2):269-27.
- Albouchi, A., H. Sebeï, Y.M. Majid and M.H. Aouni 2001. Influence of acclimation duration on the drought hardening of *Acacia cyanophylla* Lindl. *Annals of Forest Science*. 58:519-528.
- Alloway BJ, 1995. *Heavy Metals in Soils*: Blackie Academic & Professional.
- ASMIDAL, 2004- L'année 2003 par les chiffres. ASMIDAL infos 22 Janvier.
- Atkin, O.K., M. Schortemeyer, N. Mcfarlane and J.R. Evans 1998. Variation in the components of relative growth rate in ten *Acacia* species from contrasting environments. *Plant, Cell & Environment*. 21:1007-1017.

- ATSDR (1992) - Toxicological Profiles for antimony and compounds. Agency for Toxic. Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services.
- Aubert. G, 1983 : Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sals sodiques. Cash. ORSTOM.ser. ped. Vol xxx n°1, pp = 73-78.
- Aubert. J, 1963 - La classification des sols Classification pédologique française Cahiers ORSTOM, Pédologie n 3.
- Barbault Robert, (2009) : Ecologie Générale : structure et fonctionnement de la biosphère, 5ème édition, p32
- Baver L.D et Rhoades H. F (1932) - Aggregate analysis as an aid in the study of soil structure relationships.
- Beadle, C.L.N.C.W. 1981 The Vegetation of Australia. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bentham, G. 1875. Revision of the suborder Mimoseae. Transactions of the Linnean Society, London. 30:335-664.
- Boislève Jacques B., 2010 : Le Soja.
- Bonnot-Courtois C. ET N. Jaffrezic-Renault, 1982. ETUDE DES ECHANGES ENTRE TERRES RARES ET CATIONS INTERFOLIAIRES DE DEUX ARGILES.
- Bougard Daisy, (2004) : traitement biologique d'effluents azotés avec arrêt de la nitrification au stade nitrite, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.
- Boulaine J., 1989. Histoire des pédologues et de la science des Sols, éditions INRA.
- Brockwell, J., S.D. Searle, A.C. Jeavons and M. Waayers 2005. Nitrogen Fixation in Acacias: an Untapped Resource for Sustainable Plantations, Farm Forestry and Land Reclamation. In Australian Centre for International Agricultural Research.
- Bronswijk .J J B (1989) - Prediction of actual cracking and subsidence in clay soils.
- Camayou H et Legros, J -P (1989) - Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la Science du sol.

- Carr, J.D., 1976. The South African Acacias.
- Casey H. and Clarke R. T.. (1979). Statistical analysis of nitrate concentrations from the river Frame (Dorset) for the period 1965-76. *Freshwater Biol.*, 9, pp. 91-97.
- Cheftel, J.-C. et Cheftel, H. 1992. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Volume 1. Ed. Tec et doc. Lavoisier. pp: 243-267.
- Chretien et Tessier D (1988). Influence du squelette sur les propriétés physiques des sols hydratation, gonflement et aération *Science du sol*.
- Certes A., Les nodosités et les microbes des Légumineuses, Lisieux, Morière, 1901.
- Cossut, J., Defrenne, B., Desmedt, C., Ferroul, S., Garnet, S., Roelstraete, L., Vanuxeem, M. et Vidal, D. 2002. Les Corps Gras: Entre Tradition et Modernité. *Gestion de la Qualité Nutritionnelle et Marketing des Produits Alimentaires*. pp: 21-64.
- CPVQ, 1993- Rotation des cultures et engrais verts. Feuille technique. Numéro de commande 02-9304.
- Crutzen, P.J., Mosier, A.R., Smith, K.A., and Winiwarter, W. (2007). N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*
- De Kimpe C., 1996 – Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology*, 72, 1115, 1119.
- Denise, J. 1992. Raffinage des corps gras. In *Manuel des corps gras*. Volume 2. Ed. Tec et doc Lavoisier. pp: 789-881.
- Dinon E. et Gerstmans A, 2008. L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs.
- DIOME Fary. 1996 : Rôle de la structure du sol dans son fonctionnement hydrique. Sa quantification par la courbe de retrait.
- Dokuchaev, V.V. 1893. The Russian Steppes: Study of the Soil in Russia, Its Past and Present. Saint-Petersbourg, Russie: Department of Agriculture Ministry of Crown Domains for the World's Columbian Exposition at Chicago.
- Edwards R, Lepp N.W. and Jones K.C. (1995) Other less abundant elements of potential environmental significance. vol, *In: Heavy metals in soils*, B. J. Alloway Eds, pp. 307-310.

- Emberger L., 1954. Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Univ. Montpellier.
- FAO. 1980. Gi Ressource Genetique d'Essence Arborées des zones Arides et semis-Aride.
- FAO. 1994. Processing and refining edible oils. Food and agriculture organization of the united nations and the world health organization Rome. pp: 19-26.
- Farre, 2004-Les différents types d'engrais Action.FARRE.
- Fi ES J C et Stengel P (1984) - Relations entre la constitution granulométrique et minéralogique et les caractéristiques de l'espace poral des sols. In Livre jubilaire du cinquantenaire de l'AFES.
- Fischer, H.M. (1996). Environmental regulation of rhizobial symbiotic nitrogen fixation genes. Trends Microbiol.
- Freiberg, C., Fellay, R., Bairoch, A., Broughton, W.J., Rosenthal, A., and Perret, X. (1997). Molecular basis of symbiosis between Rhizobium and legumes.
- Google MAP : <https://maps.google.com/?ll=35.46835,-1.19423&z=15&t=h>
- Gros A, 1967-Angrais- Guide pratique de la fertilisation. Ed. La maison Rustique- Paris France. 430p
- Guinet, P. and J. Vassal 1978. Hypotheses on the differentiation of the major groups in the genus Acacia (Leguminosae). Kew Bulletin. 32:509-527.
- Hangeman RH., 1984- Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. In :Nitrogen in grain legumes. Plant soil 130,199-209.
- Hickey. W.J. 2006 in University of Wisconsin Madison.
- Huber Gérald et Schaub Christiane, 2011: La fertilité des sols : L'importance de la matière organique.
- INRA., 2012 : Les flux d'azote liés aux élevages
- Ismail Cakmak et Atilla M. Yazici.2010. Magnésium: Composante Oubliée de la Production Agricole.

- ITCF - ITAVI, 2002 – Valeurs fertilisantes des engrais organiques. ED. Agro-Systemes.1p
- Jeanmaire M. et Deront M. 1999- La digestion anaérobie solide discontinue fumier. Travail semestriel interdisciplinaire. (Mémento agricole service romand de vulgarisation agricole).
- Kabata-Pendias A. and Pendias H. (1992) Trace elements in soils and plants.London (UK), CRC Press. 2nd Ed.
- Kirkby, E.A. et D.J. Pilbeam. 1984. Calcium as a plant nutrient. Plant Cell Environ.
- Kraepiel Anne M. L, Klaus Keller, and François M. M. Morel, 1999: A Model for Metal Adsorption on Montmorillonite.
- La voie agricole, 2003- Engrais vert encore et encore. L'union des cultivateurs Franco-Ontariens. 3p.
- Layzell DB., 1990- N₂ Fixation, NO₃⁻ reduction and NH₄ assimilation. In plant physiology, biochemistry and molecular biology, D.T and H.D Turpin. Eds. Longman scientific et Technical, Singapore 389-413.
- Legros J.P., 2006. Mapping of the Soil - Science Publishers
- Lewington, M.A. and B.R. Maslin 2009. Three new species of Acacia (leguminosae: Mimosoideae) from the Kimberley Region, Western Australia. Nuytsia. 19:63-75.
- Lewis, G.P., B.D. Schrire, B. Mackinder and M. Lock 2001. Legumes of the world. Kew, UK, Royal Botanic Gardens.
- Marie-Monique Robin, Le Monde selon Monsanto. De la dioxine aux OGM, une multinationale qui vous veut du bien, préface de Nicolas Hulot postface de Louise Vandelac, Arte éditions / La Découverte, 2008 (édition française) ; Les Éditions internationales Alain Stanké, 2008 (édition canadienne en langue française).
- Mangenot Georges, 2014 : « LÉGUMINEUSES », Encyclopædia Universalis.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Chapitre 8 : functions of mineral nutrients : macronutrients.
- Martinez, E., Romero, D., and Placios, R 1990. The Rhizobium genom. Critical Reviews in Plant Sciences 9 : 59-93.
- Maslin, B.R., J.M. Miller and D.S. Seigler 2003. Overview of the generic status of Acacia (Leguminosae: Mimosoideae). Australian Systematic Botany. 16(1):1 -18.

-Materne M., Petiau L.M., Van Damme P., (1991). Le cycle de l'azote et les nitrates dans l'eau. Tribune de l'eau, 551(3), pp. 33-45).

- Meyer C., Hirel B., Morot-Gaudry IF., Caboche M., (1993). L'utilisation de l'azote par les plantes. *La recherche*, 257(24), pp. 956-962).
- Moeys J. (2009) - The Soil Texture Wizard. R functions for plotting, classifying and transforming soil texture data.
- Moffett, A.A. 1956. Genetical studies in Acacias. I. The estimation of natural crossing black wattle heredity. 10:57-67.
- Mohsen Hanana, Olivier Cagnac, Mokhtar Zarrouk et Eduardo Blumwald. 2009. Rôle biologique des antiports vacuolaires NHX : acquis et perspective d'amélioration génétique des plante.
- Mohtadji-Lamballais, C. 1989. Les aliments. Ed. Maloine. pp: 94-102.
- Münch, E.-W.2004. Enzymatic degumming processes for oils from soya, rape and sun. Lippro consulting: 1-47.
- N'dayegamiye Adrien, 2007 : La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO : Facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote.
- Nap, J.P., and Bisseling, T. 1990. Nodulin function and nodulin gene regulation in root nodul developmt. *In* : The Molecular biology of symbiotic nitrogen fixation. Boca Raton, Fla pp 1 8 1-229.
- Ollivier, M. D., Bagni, M., Beugnot, N., Borgat, G., Cousyn, G., Daumas, A., Garcia, G., Gilles, C., Gominet, G., Huertas, A., Le Francois, P., Le Gonidec, D., Looten,C., Martins,E., Moretain, C., Morin, O., Simbelie, K. et Thegarid, D. 2005. Spécification technique n° E 4-05 du 31 mars 2005 relative aux huiles végétales alimentaires. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 29p.
- Pages, X. 1994. Dossier marché mondial des oléagineux: Les isomères 18 :1 trans dans l'alimentation des européens. *Oléagineux. Corps gras. Lipides*. 3(1): 177-178.
- Pauwels J.M., van Ranst E., Verloo M. & Mvendo ZE A., 1992. Manuel de laboratoire de pédologie. Méthodes d'analyses des sols et des plantes, équipements, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques. Bruxelles : Administration Générale de la Coopération au Développement (AGCD).

- Pedley, L. 1978. A revision of *Acacia* Mill. In Queensland. *Austrobaileya*. 1:75-234.
- Pedley, L. 1986. Derivation and dispersal of *Acacia* (Leguminosae), with particular reference to Australia, and the recognition of *Senegalia* and *Racosperma*. *Botanical Journal of the Linnean Society Soc.* 92:219-254.
- Polhill, R.M., P.H. Raven and C.H. Stirton 1981. Evolution and systematics of the Leguminosae. In P H *Advances in legume systematics, part 1* Eds. R.M. Pohill and P.H. Raven. Royal Botanic Gardens, Kew, UK, pp. 1-26.
- Postgate J. (1998) : *Fixation de l'azote*, 3ème édition. Pression d'université de Cambridge, Cambridge R-U.
- Prabha K, Padmavathiamma and Loretta YLi. 2007. Hyper-accumulation metals in plants. *Water Air Soil Pollut.*
- Prescott, Hartley, Klein : *Microbiologie*, éditions De Boeck Université (2003).
- Richer de Forges A.C., Feller C., Jamagne M. et Arrouays D. (2008) - *Perdus dans le triangle des textures. Étude et Gestion des sols.*
- Righi, D. and Elsass, F., 1996. Characterization of soil clay minerals: Decomposition of X-ray diffraction diagrams and high-resolution electron microscopy. *Clays and Clay Minerals*.
- Robert, M., 1996. *Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement*, Paris, 241 pp.
- Rolfé, B.G., and Gresshoff, P.M. 1988. Genetic analysis of legume nodule initiation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 39 : 297-319.
- Ross, J.H. 1973. Towards a classification of the African acacias. *Bothalia*. 11 (1 and 2):107-13.
- Rotation des cultures et engrais verts. Feuille technique. Numéro de commande 02-9304.
- Roupsard, O., A. Ferhi, A. Granier, F. Pallo, D. Depommier, B. Mallet, H.I. Joly and E. Dreyer 1999. Reverse phenology and dry-season water uptake by *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. in an agroforestry parkland of Sudanese west Africa. *Functional Ecology*. 13:460-472.
- Sherry, S.P. 1971. *The Black Wattle (Acacia mearnsii De Wild.)*. (Uni. Of natal Press: Natal).

- Stevenson, F.J. 1982. Nitrogen in agricultural soils. American Society of Agronomy, Madison, Wis. 940 p.
- Tihon Alain, *chercheur-associé à Etopia* Août 2008. LE MONDE SELON MONSANTO - De la dioxine aux OGM, une multinationale qui vous veut du bien par Marie-Dominique Robin, La Découverte, Arte Editions.
- Union Européenne, 2010 ; Les sols : une ressource essentielle pour l'Union européenne.
- USDA. National Nutrient Database for Standard Reference » [archive], ars.usda.gov, 2 avril 2012.
- USDA. ORGANIC, 2006-L'agriculture biologique, Wanda Ember 2p
- VALE Matthieu M., (2006) : Quantification et prédiction de la minéralisation nette de l'azote du sol in situ, sous divers pédoclimats et systèmes de culture français, thèse n° 2367, INRA-France.
- Van brusseil, A.N., Zaat, S.A.J., Canter, C., Wijffelman CA, Pees, E., Tak, T., and Lugtenberg, B.J.J. 1986. Role of plant root exudate and symplasmic localized nodule genes in the synthesis by *Rhizobium Zegurninosanun* of tsr factor, which causes thick and short root on common vetch. Journal of Bacteriology 165 : 517-522.
- Vance, C.P., Egli, M.A., Griffith, S.M., and Müller, S.S. 1988. Plant regulated aspects of nodulation and N₂ fixation. Plant, Cell and Environment 11 : 423-427.
- Vassal, J. 1972. Apport des recherches ontogéniques et seminologiques à l'étude morphologique, taxonomique et phylogénique du genre Acacia. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse. 108:105-247.
- VincenS J. M. 1982, Nitrogen fixation in legumes. Sydney. Academic Press, New York 288 p.
- Warman p., 1981- Principes fondamentaux de la culture d'engrais vert. Ed. Ecological agriculture projects, 7p
- Watson et al.1981 in The prokaryotes, vol 1, M.P. Starr et al. Eds., springer-verlag pub., p.1013
- Wickens, G.E. 1996. Rôle des acacias dans l'économie rurale des régions sèches d'Afrique et du Proche-Orient.
- Wright Susan, 1994. Molecular Politics. Developing American and British Regulatory Policy for Genetic Engineering, 1972-1982, University of Chicago Press, Chicago, p 107 (cité par Hervé KEMPF, La Guerre secrète des OGM, op. cit., p. 49

ANNEXE I**Méthodes d'analyses utilisées****1. Milieu de culture utilisé****1.1. Milieu gélosé 1%**

Agar-agar	1 g
Eau distillée	100 ml

1.2. Gélose nutritive (Milieu non spécifique)**Constituant s**

Peptone : 5g

Extrait de viande : 1g

Extrait de levure : 2g

Chlorure de sodium : 5g

Agar-agar : 15g

pH final à 25°C : pH 6,8± 7

1.3. Milieu YEM (Yeast-extract Mannitol)**1.3.1. Milieu YEM solide (1000ml)**

(1) Solution minérale de Bergersen : 100 ml

(2) Extrait de levure : 1g

(3) Mannitol : 10g

(4) Agar-agar : 20g

1.3.2. Milieu YEM liquide (1000ml)

(1) Bergancian : 100 ml

(2) Extrait de levure : 1g

(3) Mannitol : 10g

2. Solution nutritive (Broughton et Dilworth, 1971)

Solution mère	Forme chimique	Concentration (g/l)	Volume (ml)
(1)	CaCl ₂ ·2H ₂ O	294	0,5
(2)	K ₂ HPO ₄	196	0,5
(3)	MgSO ₄ ·7H ₂ O	126	0,5
	K ₂ SO ₄	87	
	MnSO ₄ ·H ₂ O	0,338	
(4)	H ₃ BO ₃	0,247	0,5
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,1	
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,288	
	CO ₂ SO ₄ ·7H ₂ O	0,056	
	Na ₂ MOO ₂ ·2H ₂ O	0,048	
(5)	NaFe EDTA	0,734	0,5

3. Mesure du pH et de la conductivité

3.1. Mesure du pH

- Peser 20g de terre fine séchée à l'air et l'introduire dans un flacon.
- Ajouter 50ml d'eau distillée.
- Mettre dans un bain de sable pendant 20 minutes.
- Agiter dans un agitateur pendant 20 à 30 minutes.
- Filtrer la solution.
- Mesurer le pH.

3.2. Mesure de la conductivité

- Peser 10g de terre fine séchée à l'air et l'introduire dans un flacon.
- Ajouter 50ml d'eau distillée.
- Mettre dans un bain de sable pendant 20 minutes.
- Agiter dans un agitateur pendant 20 à 30 minutes.
- Filtrer la solution.
- Mesurer la conductivité.

4. Dosage du calcaire total par (calcimètre de Bernard)

4.1. Témoin

-Introduire 1g de CaCO_3 dans la fiole et fermer celle-ci et s'assurer que le niveau du liquide (Eau distillée) est bien au repère "0" de la burette.

-Fermer le robinet, puis incliner la fiole pour faire couler 5ml d'HCl sur le CaCO_3 . Le dégagement du CO_2 refoule l'eau dans la colonne du calcimètre ce qui donne le volume "V" du CO_2 pour le CaCO_3 .

4.2. L'échantillon

-Peser 5g de terre fine en pratiquant la même opération que sur le témoin et calculer "v" du CO_2 pour l'échantillon.

$$[(\text{"v"})/5]100/ (\text{"V"}) = \% \text{CaCO}_3$$

5. Mesure de l'humidité et de la matière organique

-Peser 10g de terre fine et mettre dans l'étuve à 105°C pendant 15 heures.

-Mettre la terre fine sèche à 105°C au four à 550°C pendant 4 heures.

P1=Poids de la capsule vide.

P2=Poids de la capsule vide + 10g

P3=Poids de la capsule vide + Terre séchée à 105°C

P4=Poids de la capsule vide + Terre calcinée à 550°C

5.1. Calcule de l'humidité

$$[(P2-P3) / (P3-P1)] 100 = \text{H}_2\text{O} \%$$

5.2. Calcule de la matière organique

$$[(P3-P4) / (P3-P1)] 100 = \text{MO} \%$$

6. L'analyse quantitative et qualitative de la flore bactérienne

6.1. L'analyse quantitative

6.1.1. Matériel

- Tubes a essai en verre stériles

- Bec bunsen

- Pipettes stériles de 1 mL et 10 mL
- Un vortex
- Eau de Javel
- Anse de platine
- Boîtes de Petri
- Gélose nutritive (Milieu non spécifique)
- Incubateur
- Une loupe

6.1.2. Méthode

- Peser 1g d'échantillon et l'introduire dans 9 mL d'eau distillée.
- Homogénéiser la suspension à prélever (agitation par mouvements circulaires pendant 10 secondes environ ou à l'aide d'un vortex).
- Prélever 1 mL de suspension mère à l'aide d'une pipette stérile.
- Introduire le volume prélevé (éviter tout contact entre la pipette contenant l'inoculum et le diluant stérile) dans le tube contenant 9 mL de l'eau distillé.
- Refaire la même manipulation jusqu'à l'obtention de la dilution décimale de 10^{-6}
- Couler la gélose nutritive dans une boîte de Petri
- Prendre 1 mL de la suspension 10^{-6} et l'étaler sur la gélose nutritive à l'aide d'un étaloir
- Incuber à 28 °C pendant 48h
- Observer à l'aide d'un lecteur de colonies avec loupe

6.2. L'analyse qualitative (par coloration du Bleu de méthylène)

6.2.1. Matériel

- Microscope optique
- Anse de platine
- Eau distillée
- Une pipete de 1 mL
- Bec bunsen
- Lame
- Bleu de méthylène a 1% (Dilué)
- L'huile a immersion

4.2.2. Méthode

- Choisir des colonies bien isolées, et prélever avec l'anse.
- Etaler les colonies sur la lame
- Fixer a l'aide d'une flamme
- Colorer par une solution de bleu de méthylène
- Laisser sécher pendant 3 min
- Rincer à l'eau distillée
- Déposer une goutte de l'huile a immersion
- Observer au microscope optique (objectif fois 100).

7. Coloration de Gram

7.1. Matériel

- Microscope optique
- Anse de platine
- Eau distillée stérile
- Bec bunsen
- Lame
- Violet de gentiane
- Le Lugol
- L'alcool à 90 °C
- La Fuchsine
- L'huile à immersion

7.2. Méthode

A) Préparation du frottis

- Nettoyer une lame à l'alcool.
- Déposer une goutte d'H₂O sur la lame.
- Prélever les bactéries avec une anse stérile
- Frotter la pointe dans la goutte d'eau.

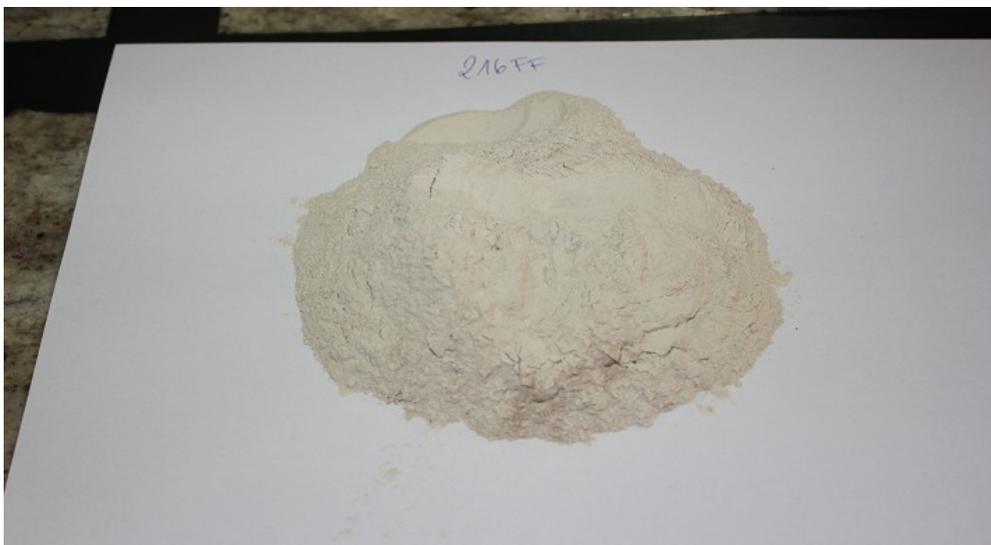
Passer la lame sur la flamme (veilleuse) du bec Bunsen pour fixer l'échantillon à la chaleur.

B) Coloration

- Déposer quelques gouttes de solution de violet de gentiane sur le frottis fixé et laissez agir de 30 secondes à 1 minute, puis rincer à l'eau distillée stérile.

- Etaler le Lugol et laisser agir, le même temps que le violet de gentiane et rincer à l'eau distillée stérile.
- Décolorer rapidement avec l'alcool à 90 °C et rincer avec de l'eau distillée stérile.
- Recolorer avec la Fuchsine et laisser agir de 30 secondes à 1 minute. Rincer et faire sécher la lame.
- Déposer une goutte d'huile à immersion et observer au microscope optique (objectif fois 100).

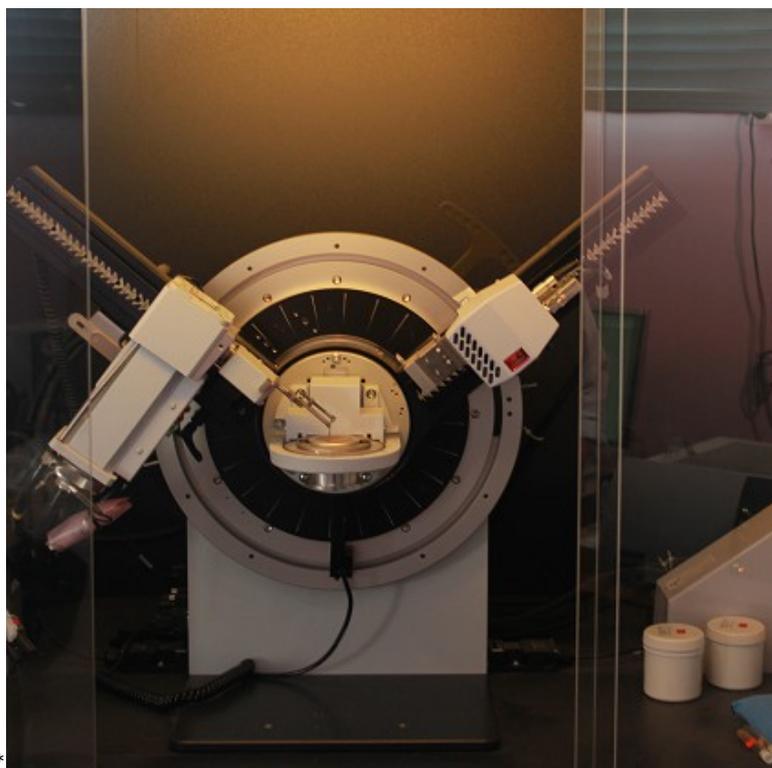
ANNEXE II



Terre décolorante vierge



Terre décolorante usée



**Diffraction de rayons X de marque BRUKER
D8 ADVANCE**



**Spectrophotomètre RFID (Radio frequency identification) de marque
LANGE DR 3900**



Germination des Graines d'*Acacia saligna*