

Les acacias: des plantes fixatrices d'azote prometteuses pour le développement durable des zones arides et semi-arides

[Acacia: Promising Nitrogen fixing trees for sustainable development in arid and semi-arid areas]

Kawtar Fikri Benbrahim¹, Halima Berrada¹, Naima El Ghachtouli¹, and Mohamed Ismail²

¹Laboratoire de Biotechnologie Microbienne, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques Fès, BP 2010, Route d'Imouzzer, Fès, Maroc

²Laboratoire de Microbiologie et Physiologie des Symbioses, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès, Beni M'hamed, Meknès, Maroc

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Acacias are spectacular angiosperms grouping single canopy species to those of tropical forests. Easy growth, hardiness and drought resistance of these Australian Wattle trees give them variable and great economic importance. Indeed, among other they produce, wood, edible seeds, gums and provide a valuable source of high quality fodder, rich in protein for subsistence and commercial production of livestock because they provide foliage during dry periods in the absence of herbaceous species. In addition, they contribute to the warmer climate of arid and semi-arid areas by reducing evaporation and creating a shadow that slows the soil drying and provide the setting and coastal sand dunes with their lateral root system that promotes better maintenance of the sand particles cohesion. Moreover, their ability to develop a dual symbiosis with Rhizobium bacteria and mycorrhizal fungi confers ecological importance. Indeed, they provide soil enrichment and improvement of soil fertility due to their ability to fix atmospheric nitrogen and to explore deep horizons of the soil by their roots. All these factors make it an economic resource of a great environmental and social importance, especially in arid and semi-arid areas, and an excellent candidate for reforestation of Mediterranean areas.

KEYWORDS: Acacias, ecological and economical interests, desertification, Rhizobium, nitrogen fixation, endomycorrhizae.

RESUME: Les acacias sont des Angiospermes spectaculaires, regroupant des espèces de simple couvert végétal à celles des forêts tropicales. La croissance facile, la rusticité et la résistance à la sécheresse de ces plantes originaires d'Australie leur confèrent une importance économique très grande et variable. En effet, elles produisent entre autres, du bois, des graines comestibles, des gommes de valeur et constituent une source de fourrage de haute qualité, riche en protéines pour la subsistance et la production commerciale du bétail puisqu'elles fournissent un feuillage pendant les périodes sèches en absence d'espèces herbacées. De plus, elles contribuent à l'adoucissement du climat des zones arides et semi-arides en diminuant l'évapotranspiration et en créant une ombre qui ralentie le dessèchement du sol ; et assurent la fixation des dunes sableuses et côtières grâce à leur système racinaire latéral qui favorise un meilleur maintien de la cohésion des particules sableuses. Par ailleurs, leur capacité de développer une double association symbiotique, avec les bactéries du genre Rhizobium d'une part et les champignons mycorrhiziens d'autre part, leur confère une importance écologique. En effet, elles assurent l'enrichissement du sol et l'amélioration de sa fertilité grâce à leurs capacités de fixer l'azote atmosphérique et de prospecter des horizons profonds du sol. Ce qui en fait une ressource économique, environnementale et sociale très

prometteuse surtout en zones arides et semi-arides, ainsi qu'un excellent candidat pour la reforestation en zones méditerranéennes.

MOTS-CLEFS: Acacias, intérêt écologique, économique, désertification, Rhizobium, fixation d'azote, endomycorhizes.

1 INTRODUCTION

Les acacias sont des légumineuses arborescentes, originaires de l'Australie, qui se développent dans différentes régions climatiques et qui sont bien adaptées à des conditions écologiques défavorables, notamment celles des zones arides et semi-arides. Elles résistent au froid, à la faible pluviométrie, à la sécheresse, à la salinité... Ainsi, les espèces à feuilles entières sont résistantes au froid et supportent des températures de -5°C à -8°C , celles à feuilles composées résistent à -8 ou -10°C . De plus, les espèces des zones tropicales arides dont *A. ampliceps*, *A. maconchieana* et *A. stenophylla* tolèrent des sols très alcalins, salins et s'adaptent bien même aux sols acides riches en humus comme ceux du Pakistan [1].

Les acacias australiens sont considérés, comme plantes exotiques et recouvrent approximativement 2 millions d'hectares dans plus de 70 pays [2]. Elles ont été utilisées par les aborigènes australiens comme une source de nourriture, d'outils et d'armes ainsi qu'en médecine traditionnelle.

Leur grande biodiversité et leur capacité à développer une double association symbiotique avec les bactéries *Rhizobium* fixatrices d'azote d'une part et avec les champignons endomycorhizogènes d'autre part, leur confère une importance au niveau socio-économique et écologique. En effet, les *Rhizobium* dominent l'introduction et la répartition de l'azote dans la biosphère et tendent à compenser les pertes d'azote par dénitrification grâce à leur capacité de fixer l'azote atmosphérique et le transformer en une forme directement assimilable par la plante. Elles assurent la fixation de la plus grande partie d'azote fixé par les associations symbiotiques, estimée à 175 millions tonnes N/an [3]. Ce qui permet aux plantes hôtes de s'affranchir des contraintes de la fertilisation azotée à la fois coûteuse et polluante de l'environnement. En outre, les champignons endomycorhizogènes arbusculaires se retrouvant chez plus de 90% des espèces végétales ont un effet favorable, notamment sur l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs, chez les plantes hôtes. D'où leur rôle important dans le fonctionnement et la stabilité de n'importe quel écosystème, surtout celui à faible niveau de dégradation dans lequel elles permettent non seulement l'acquisition des éléments nutritifs par l'hôte, mais aussi une redistribution des nutriments entre plusieurs plantes hôtes et entre les plantes hôtes et le sol hôte [4]. Ce qui aide les plantes mycorhizées à résister notamment aux conditions désertiques et contribue considérablement à la productivité et la longévité d'écosystèmes aménagés. Ainsi, les acacias peuvent être utilisés dans les programmes de reforestation et de lutte contre la désertification.

L'objectif de cette revue bibliographique est d'illustrer les rôles socio-économique, médicinal et écologique de ces arbres et arbustes ; puis, de mettre le point sur l'intérêt de la double association symbiotique.

2 GÉNÉRALITÉS SUR LES ACACIAS

2.1 TAXONOMIE

Le genre *Acacia* relève de la famille des Légumineuses, sous-famille des Mimosoideae. Il semble avoir d'abord été diversifié dans les régions tropicales qui représentent les restes actuels du Gondwana occidental [5]. La classification des espèces actuelles se heurte au caractère continu de la variation des caractères au sein de ce genre. On distingue néanmoins trois sous-genres présentant plusieurs sections [5]:

- s. g. *Aculeiferum* (fortes épines, semences sans albumen) ;
- s. g. *Heterophyllum* (feuilles bipennées ou phyllodes, semences avec traces d'albumen, absence d'arille) ;
- s. g. *Acacia* (stipules épineux, caractères cytologiques spécialisés).

2.2 HABITAT

Le genre *Acacia* a un habitat très vaste qui s'étend des régions côtières aux régions sub-alpines et des régions de forte pluviométrie aux zones arides ; recouvrant ainsi l'Afrique, l'Australie, l'Amérique du Sud et d'autres régions tempérées dans le monde.

Il est caractérisé par une grande diversité représentée par plus de 1350 espèces dont environ 1000 répertoriées en Australie [6]. Ces espèces d'acacias se développent, en fonction de la variété, en arbustes à faible croissance (à port dressé ou parfois buissonnant) ou en arbres d'ombre (pouvant atteindre une dizaine de mètres de hauteur). Il existe même des espèces qui constituent d'excellentes plantes de serre froide ou de véranda. Le sous genre *Heterophyllum* est principalement représenté en Australie et les deux sous genres *Aculiferum* et *Acacia* ont une plus large distribution.

Au Maroc, les acacias sahariens recouvrent une superficie de 1.128.000 ha de forêts naturelles. On rencontre *Acacia mearnsii* dans la région de la Mâamora (Plaine Atlantique), *A. gummifera* et *Acacia* spp. Dans la Meseta atlantique et orientale (Moyen Atlas), *A. gummifera*, *A. raddiana*, *A. seyal* et *A. albida* dans le présahara (région du Souss) ainsi qu'*A. raddiana* et *A. seyal* dans le Sahara [7]. Une superficie de plus de 27.000 ha a été reboisée par des acacias durant la campagne de 1980-1990.

3 INTÉRÊTS ÉCONOMIQUE, ÉCOLOGIQUE ET MÉDICINAL DES ACACIA

3.1 INTÉRÊT ÉCONOMIQUE DES ACACIAS

3.1.1 BOIS DE CHAUFFAGE (CHARBON DE BOIS)

Les Acacias sont reconnus pour leur potentiel élevé de production de la biomasse et leur bois est généralement considéré comme un bon combustible avec une haute valeur calorifique. En effet, certaines espèces d'*Acacia* fournissent un charbon de bois de très bonne qualité, surtout *A. nilotica*, *A. polyacantha* (subsp. *Campylacantha*), *A. tortilis* (subsp. *Raddiana*) et *A. senegal* [8]. Ayant un pouvoir calorifique de 4500 kcal / kg, *A. nilotica* a été utilisée dans les locomotives, les bateaux à vapeur et les petites industries. Cependant, la combustion du charbon émet des étincelles. *Acacia ehrenbergiana* produit également du bois avec un haut pouvoir calorifique mais sans fumée ni étincelles [9]. De plus, *A. ampliceps*, *A. maconochieana* et *A. stenophylla* sont utilisées avec succès comme une source de bois de chauffage en zones tropicales arides [1].

Acacia auriculiformis est largement plantée dans la région pacifique de l'Asie ; et des plantations d'*A. nilotica* sont gérées sur une rotation de 15-20 ans, en Inde et au Pakistan, pour le bois et le bois de feu (<http://www.worldagroforestrycentre.org>).

3.1.2 BOIS D'ŒUVRE ET DE SERVICE

Le bois issu des plantations naturelles d'acacias sert à différents usages (Tableau I).

Tableau I : Principales utilisations du bois de quelques espèces d'acacias

Principales utilisations du bois des acacias	Exemples d'espèces
Production de matériaux de construction (poteaux, bois de traverse, perches, cadres de portes, etc.) :	<i>A. nilotica</i> , <i>A. tortilis</i> (subsp. <i>raddiana</i>) et <i>A. seyal</i> au Sahel ; <i>A. melanoxydon</i> , <i>A. celsa</i> et <i>A. mearnsii</i> en Australie ; <i>A. auriculiformis</i> et <i>A. crassicarpa</i> en Asie
Menuiserie et fabrication de mobilier	<i>A. mangium</i> , <i>A. melanoxydon</i> , <i>A. celsa</i> .
Industrie du papier	<i>A. mangium</i> et <i>A. mearnsii</i> en Australie ; <i>A. crassicarpa</i> et <i>A. peregiensis</i> en Asie pacifique
Instruments de musique et divers objets d'art	ex. <i>A. nilotica</i>
Réalisation d'outils agricoles, piquets, etc...	<i>A. polyacantha</i> ; <i>A. gourmaensis</i>
poteaux de clôture et des grillages de jardin	<i>A. aneura</i> , <i>A. acuminata</i> ...
Produits d'intérêt industriel (cellulose, adhésifs et agents anticorrosifs)	<i>A. mearnsii</i>
Ustensiles de cuisine (plaques à découper, plaques de Pizza...).	<i>Acacia</i> sp.

Ainsi, de vastes plantations d'*A. mangium* ont été établies en Indonésie, Malaisie et en Australie [10] ainsi qu'en Inde et dans les provinces du Sud en Chine [11] afin de produire du bois pour l'industrie du papier grâce à la qualité de ses fibres. De même, des plantations commerciales d'*A. melanoxydon* ont été établies en Australie, durant les années 90, pour la production du bois de construction [12].

3.1.3 TANINS ET COMPOSÉS PHÉNOLIQUES

Communément appelés poly phénols, les tanins sont des composés phénoliques à usages multiples (adhésifs, teintures, tannage..). Certaines espèces d'*Acacia* sont très riches en tanins, dont *A. catechu*, *A. nilotica* (30-32% dans les gousses et 20% dans les écorces), *A. mearnsii* (30 à 54 % dans les écorces), *A. polyacantha* (subsp. *Campylacantha*), *A. saligna* (jusqu'à 30.3% dans les écorces) et *A. tortilis* (subsp. *Raddiana*). Ainsi, une teinture d'un brun rougeâtre produite à partir du bois d'*A. catechu* est utilisée pour le tannage des peaux et également, dans le passé, pour le *cachoutage* des voiles (imperméabilisation). Les tanins d'*A. pycnantha* et d'*A. mearnsii* sont également très utilisés dans l'industrie du cuir (tannage des peaux). Gouila et al (2012) ont isolé à partir des fleurs d'*A. saligna* des calcones et les ont utilisé comme produits de teintures naturels qui donnent des teintes brillantes et vives [13].

Par ailleurs, *A. mearnsii* est fondamentalement reconnue comme l'une des sources les plus productives de tannins condensés de haute qualité utilisés pour la production d'adhésifs imperméables dans les produits reconstitués du bois [14] ainsi que dans la protection des cordes, la teinture des tissus etc.. [15].

Récemment, une relation linéaire significative a été observée entre le potentiel antioxydant, l'activité antiradicaux et le contenu en composés phénoliques dans les écorces d'*A. mearnsii* [16] et d'*A. mangium* [11]. Les extraits aqueux des feuilles et bruts de l'écorce d'*A. confusa* riches en composés phénoliques ont également une excellente activité antioxydante [17, 18]. De plus, Olajuyigbe et Afolayan ont reporté que l'activité antimicrobienne des extraits de l'écorce d'*A. mearnsii* pourrait être expliquée par les propriétés astringentes propres associées avec son pourcentage élevé en tannins [19].

3.1.4 GOMMES

La gomme est un extrait sec obtenu à partir des tiges et des branches d'*Acacia senegal* (L) Willdenow ou *Acacia seyal* (Famille Leguminosae) [20]. C'est un polysaccharide hydro colloïdal, totalement atoxique (E 414), neutre, inodore, insipide, incolore, stable et de faible viscosité. Elle possède des propriétés émulsifiantes, stabilisantes et épaississantes la rendant très recherché dans différents domaines :

Agroalimentaire : comme additif alimentaire, stabilisant et émulsifiant industriel dans les produits laitiers, en confiserie, en pâtisserie etc.

Médicinal : anti-inflammatoire, diurétique, contre la dysenterie et les ulcérations. Elle est même recommandée dans les premiers stades des fièvres typhoïdes.

Elles peuvent être utilisées en pharmacotechnie comme stabilisant des suspensions, émulsifiant, agent d'encapsulation d'arômes par nébulisation ou encore additif pour la préparation des formes solides destinées à la prise par voie orale [15].

Industriel : pour l'impression et l'apprêt des étoffes.

Plusieurs espèces d'*Acacia* produisent de la gomme arabique : *A. senegal*, *A. ehrenbergiana*, *A. nilotica*, *A. sieberana*, *A. tortilis* (subsp. *Raddiana*) et *A. polyacantha* subsp. *Campylacantha* [8].

3.1.5 MÉDECINE TRADITIONNELLE

Les préparations à base des feuilles, brindilles et écorces d'une trentaine des 950 espèces Australiennes sont utilisées à large étendu pour des besoins thérapeutiques par les indigènes [21]. Il en ait de même en médecine traditionnelle marocaine [22] que pour d'autres pharmacopées [23] (Tableau II).

Tableau II : Utilisations de quelques espèces d'Acacia en médecine traditionnelle

Espèces d'Acacia	Utilisations en médecine traditionnelle	Référence
<i>A. raddiana savi.</i>	Contre les affections oculaires, les diarrhées, la jaunisse, les maladies pulmonaires, la toux, l'asthme, la laryngite, les aphtes, l'ictère et pour la cicatrisation des plaies	Hmamouchi, 1999
<i>A. gummifera</i>	Antitussif et antirhumatismal.	Hmamouchi, 1999
<i>A. seyal</i> Delite Quant	Anti-ulcéreux, antirhumatismal et anti-inflammatoire des voies respiratoires.	Hmamouchi, 1999
<i>A. albida</i> Delite	Traitement des affections cutanées (tâches blanches)	Hmamouchi, 1999
<i>A. arabica</i>	Astringent et antiseptique puissant, pour resserrer et protéger les muqueuses. Antidiarrhéique.	(Encyclopédie des plantes médicinales, 1997).
<i>A. mearnsii</i>	Astringent et antiseptique puissant, et antidiarrhéique. Contre les maux de gorge et comme gargarisant (décoction d'écorces).	(Encyclopédie des plantes médicinales, 1997).
<i>Acacia catechu</i>	Astringent puissant qui favorise la coagulation, réduit l'excès des sécrétions nasales, intestinales et vaginales. Traitement de l'eczéma, des hémorragies légères, des diarrhées et de la dysenterie ou encore pour apaiser les maux de gorge	(Encyclopédie des plantes médicinales, 1997).
<i>A. confusa</i> (extrait foliaire aqueux)	Guérison des blessures et facilitation de la circulation sanguine (Taiwan)	(Kan, 1978).
<i>Faidherbia albida</i> (écorces)	Désinfectante (décoctions), fébrifuge et antitussive (infusions) et antidontalgique	
<i>A. senegal</i> et <i>A. polyacantha</i> subsp. <i>campylacantha</i>	Contre les ulcères de l'estomac, les oedèmes et la dysenterie (écorces).	
<i>A. ataxacantha</i>	Anti-inflammatoire (<i>feuilles</i>)	
<i>A. kamerunensis</i>	Anti-dermatose et fébrifuge (<i>feuilles</i>)	
<i>Acacia macrostachya</i>	Les feuilles empêchent la propagation des venins de serpents	
<i>Acacia mellifera</i> (Vahl) Benth	Contre la pneumonie, la malaria, la syphilis (en Afrique); Activité antimicrobienne intense	Mutai et al., 2009
<i>Acacia nilotica</i>	Arrêt des saignements, cicatrisation des ulcères ou calme de la toux (gousses). Pouvoir antidontalgique surtout les racines de la sous espèce <i>adstringens</i> Anti-diarrhéique et anti-dysenteries infantiles (écorces). Contre les inflammations oculaires (feuilles)	(Vassal., 1998). (Guinko, 1998)

Grâce à leurs différentes propriétés, les différentes parties de plusieurs espèces d'acacias sont largement utilisés dans diverses formulations pour soigner plusieurs maladies.

Par ailleurs, les propriétés anti oxydantes et anti hyper glycémiques des extraits d'*A. nilotica* [24] et leur effet antiulcéreux [25] ont récemment été prouvé. Sultana et al (2007) avaient signalé qu'elle contient des molécules bioactives ayant des propriétés anti-hypertensive, antispasmodique, anti-inflammatoire, vasoconstricteur et anti- agglutinante des plaquettes [26].

De plus, l'activité antimicrobienne intense d'*Acacia mellifera* (Vahl) Benth est dû au lupan : principal constituant actif des extraits méthanoliques et méthane/dichlorométhane (1 :1) de l'écorce [27].

Dernièrement, les extraits aqueux des gousses d'*A. auriculiformis* ont été utilisés, comme agent réducteur et agent de coiffage, pour une synthèse des nanoparticules d'argent (Ag NPs) selon une méthode respectueuse de l'environnement. De

plus, ces nanoparticules synthétisées ont révélé une activité antibactérienne contre les bactéries Gram négative et Gram positive avec plus d'efficacité contre les Gram négatives [28].

3.1.6 GRAINES ET ALIMENTATION HUMAINE

Les graines d'environ 30 espèces d'acacia sont utilisées comme aliments bien qu'on pense généralement que leurs fruits et leurs graines sont non consommables et toxiques pour l'homme. En effet, les graines d'*Acacia* australiens sont très nutritives, ont un contenu énergétique élevé et un faible indice glycémique (Tableau III) ; ce qui est une propriété recherchée par plusieurs industries agro-alimentaires [29].

Tableau III : Composition chimique et contenu énergétique des graines d'acacia.

Constituants	Pourcentage	Observations
Protéines	22,8 ± 5,3 %	Ceci les rend très nutritives
Lipides	8,6 ± 5,4 %	Plus élevé que les autres légumineuses
Hydrates de carbone	55,8 ± 13,7 %	Ce taux est plus faible que celui des lentilles et plus élevé que celui du Soja
Fibres	32,3 ± 14,3 %.	
Contenu énergétique	1480 ± 270 KJ/100g	Ce contenu énergétique est élevé
Indice glycémique	faible	

Par ailleurs, les espèces d'acacia des zones semi-arides du sahel, dont *A. elachantha*, *A. thomsonii*, *A. tumida* et *A. colei* produisent des graines nutritives et savoureuses [30]. En effet, leur farine est incorporée dans plusieurs recettes locales et peut apporter une nourriture supplémentaire à plus de 25% dans cette région [31] (Photo 1). Les graines en germination d'*A. mangium* sont cuits et consommés comme légumes.



Photo 1 : Pain préparé des farines d'*Acacia saligna* et du Teff.

By Tony Rinaudo. <http://www.worldwidewattle.com/infogallery/utilisation/sehel.php>

En Inde, les graines d'*A. senegal* sont séchées et conservées pour la consommation humaine.

En plus, les graines d'*A. senegal* produisent une huile qui a des caractéristiques physicochimiques lui permettant d'être appliquée en industrie de revêtement et dans les processus de friture. En effet, sa composition en acides gras, acide oléique (43.62%) suivie par l'acide linoléique (30.66%) et l'acide palmitique (11.04%), montre sa fonctionnalité nutritionnelle désirable et lui permet d'être un substituant acceptable pour les huiles conventionnelles notamment celle du Maïs dans le régime alimentaire [32].

Rappelons enfin que les gommages des acacias sont également très nutritives et largement utilisées en industrie agro-alimentaire. Alors que leur miel est particulièrement riche en fructose et possède une saveur très douce ce qui le rend bien apprécié par les enfants et les personnes en régime hypoglycémiant.

3.1.7 ESPÈCES À VALEUR FOURRAGÈRE

Plusieurs espèces d'acacias sont couramment utilisées comme fourrage de réserve dans les zones arides. En effet, les gousses d'*A. farnesiana* et *A. cambagei*, les jeunes tiges et les feuilles d'*A. mangium* sont consommées respectivement par les moutons et le bétail. De même, *A. aneura*, *A. tortilis*, *F. albida* et *A. nilotica* sont souvent utilisées pour leur valeur fourragère. Toutefois, le taux des substances toxiques et antinutritives (tanins (4-7% ms) limite l'ingestion d'acacia, d'où la nécessité d'ajouter des sources d'azote supplémentaires (l'urée, l'ammoniaque) ou l'associer avec d'autres arbustes fourragers dont *Atriplex nummularia*, sous forme d'ensilage. Ainsi, les régimes à base d'*Acacia*, ajouté à *A. nummularia* et aux raquettes d'*Opuntia*, ont donné d'excellents résultats [33].

El Euch (1995) a reporté qu'*A. saligna*, communément répandue dans les milieux à climat aride, a une valeur fourragère importante (16% de protéines brutes, dont 12% de protéines digestibles) et constitue un aliment de complément pour le cheptel en Tunisie ; bien que relativement pauvre en énergie (0,40 UF/ kg de matière sèche en moyenne) [34].

Par ailleurs, les fleurs des *Acacia* produisent des taux modérés de pollen et de nectar [35]. Bien qu'ils ne soient pas considérés comme étant des producteurs majeurs, ils constituent ainsi une source importante de nutriments pour les espèces « nectivores ». Ainsi, les fleurs de certains acacias produisent un bon fourrage pour les abeilles, notamment *A. aneura*, *A. albida*, *Acacia erythrocalyx*, *A. gourmaensis*, *A. hockii*, *A. modesta*, *A. senegal*, *A. sieberiana* et *A. thomasii*. En plus, les fleurs d'*A. Koa* produisent du nectar et du pollen pour différents insectes dont les abeilles.

3.1.8 AUTRES UTILISATIONS

La période de floraison varie largement avec une grande majorité qui fleurit au printemps et en été et quelques espèces qui fleurissent pendant l'automne et l'hiver. Ainsi, une bonne connaissance des arbustes permet de sélectionner les variétés fleurissant aux différentes saisons et les choisir selon les besoins horticulturaux.

Plusieurs espèces ont des fleurs délicatement parfumées. Ainsi, certains parfums sont produits à partir des fleurs d'*Acacia* et sont caractérisés par leur odeur très douce. En effet, les fleurs d'*A. farnesiana* sont utilisées en parfumerie en Mexique. Les fleurs et le bois d'*A. redolens* ont un arôme vanille doux. La fleur, très fragile d'*A. dealbata*, donne une essence utilisée comme modificateur des accords floraux basés sur la rose et le jasmin.

Par ailleurs, *A. senegal* produit des arômes pour des sodas très populaires en Afrique.

Les graines d'*Acacia giraffae*, un arbuste des savanes africaines, ont été utilisés comme substituant du café. Alors que celles d'*Acacia niopo* sont utilisées pour la préparation du tabac (en mélange avec la chaux et cocculus) en Amazonie.

Les gousses d'*A. conguine* sont utilisées en Inde comme shampoing et leurs feuilles sont utilisées en cuisine pour leur acidité.

Actuellement, plusieurs industries cosmétologiques produisent des shampoings biologiques nourrissants, à base des fleurs d'*Acacia*, qui sont caractérisés par leur pH acide d'où leur bonne tolérance par le cuir chevelu.

Enfin, les extraits de vapeurs volatiles des racines d'*A. pulchella* inhibent la croissance de certains champignons pathogènes comme *Phytophthora cinnamomi* [36].

3.2 INTÉRÊT ÉCOLOGIQUE

Grâce à leur capacité de coloniser les zones dégradées, les Acacias protègent le sol contre l'érosion, la formation des dunes et la désertification.

Plusieurs espèces sont actuellement intégrées et largement utilisées dans les paysages désertiques, alors que d'autres sont encore en cours d'étude. Les espèces qui se sont révélées prometteuses sont : *A. caven* (native de l'Amérique du Sud), *A. eburnea* (native de l'Asie du Sud), *A. erioloba* (native du Sud d'Afrique), *A. karroo* (native d'Afrique), *A. occidentalis* (Mexique) et à moindre étendue *A. pendula* (Australie) [37]. De même, *A. colei* ms (native d'Australie) a montré un potentiel élevé de croissance et de résistance à la sécheresse [30].

3.2.1 PROTECTION CONTRE L'ÉROSION, LA DÉSSERTIFICATION ET LA DÉFORESTATION

La destruction du couvert végétal, dans les régions arides et semi-arides, rend le sol vulnérable à l'érosion éolienne, favorise la formation des dunes de sable et provoque l'inhibition de la production vivrière et animale. De plus, le vent transporte des particules qui peuvent nuire au réseau d'irrigation, ou causer une évapotranspiration conduisant à la salinisation dans les régions irriguées. En outre, la susceptibilité du sol aux fortes intensités de précipitation et la destruction fréquente du couvert végétal causent des pertes considérables des terres par ruissellement dans les zones de captage des eaux.

La plantation des acacias sous forme de brise-vent et de rideaux – abris peut aider à stabiliser les sols de ces régions en limitant les dégâts de l'érosion éolienne et même hydrique grâce à leur système racinaire pivotant et riche en racines latérales souterraines qui leur permet d'explorer des horizons plus profonds du sol ainsi que d'absorber le maximum d'eau de pluie, même si les précipitations sont faibles. Elles peuvent lutter contre l'érosion hydrique soit par une amélioration de la couverture du sol et son enrichissement en matière organique, surtout en zone montagnarde, où les sols sont sensibles à l'érosion par ravinement généralisé ; soit par une réduction du débit solide et une régularisation des écoulements ainsi qu'une amélioration de la productivité agricole ou forestière dans les bas-fonds (<http://www.ma.auf.org/erosion>).

Par ailleurs, le couvert aérien joue, lui aussi, un rôle dans la réduction de l'érosion éolienne et dans l'amélioration des micro-climats. Ainsi, l'effet d'ombrage favorise l'abaissement de la température ambiante, permet de réduire l'évaporation des sols et abaisse leur température de surface ce qui favorise l'apparition d'une couverture végétale plus mésophyte et plus nutritive. En revanche, en l'absence de tout ombrage, la température superficielle élevée des sols nus a un effet délétère, voire mortel, sur les semences dormantes ou en germination à la surface du sol, ce qui contrarie la repousse et favorise la désertification [38].

Des plantations intensives d'*A. nilotica*, subsp. *Indica*, *A. senegal*, *A. tortilis* et *F. albida* ont été alors effectuées pour fixer et stabiliser les dunes de sable et combattre l'érosion éolienne [38]. *A. mangium* est également plantée pour la reforestation et la réhabilitation des sols dégradés. Au Maroc, *A. saligna* (Photo 2) est largement utilisée dans la région du Souss pour lutter contre la désertification, fixer les dunes littorales et valoriser les sols salés, alors qu'*A. cyclops* est rencontrée à Mogador où elle sert à fixer les dunes côtières, *A. mearnsii* a été introduite dans la région de Sidi Yahia El-Gharb et dans la Maâmora pour le reboisement.



Photo 2 : *Acacia saligna* (www.wikipedia.org)

3.2.2 MAINTIEN ET RESTAURATION DE LA FERTILITÉ DES SOLS

Il est important de signaler que la production agricole dans les zones arides est souvent limitée par la faible fertilité des sols, généralement pauvres aussi bien en macroéléments (N, P) qu'en oligoéléments (Cu, Zn...), bien que l'eau soit considérée comme étant le facteur le plus limitant.

L'utilisation d'espèces adaptées et améliorantes, comme les acacias, peut donc être intéressante grâce à leurs capacités de puiser dans les ressources du sol par leur système racinaire développé d'une part, et d'améliorer la fertilité du sol, en assurant le recyclage et la redistribution de l'azote et des autres éléments minéraux à partir des couches profondes vers la surface du sol, lors de la décomposition de leur litière, d'autre part. D'où leur rôle dans l'amélioration des productions agricoles et forestières ; la lutte contre la dégradation de l'environnement, le maintien et la régénération de la fertilité des sols. De même, leur utilisation dans des systèmes de cultures en couloirs permet de limiter l'application abusive des engrais minéraux, d'éviter les monocultures et d'améliorer la fertilité du sol en évitant l'appauvrissement de ses éléments biologiques et/ou la dégradation de sa condition physique.

Ainsi, les acacias constituent un élément clé pour le développement durable car elles jouent un rôle important dans la stabilisation et la re-fertilisation des sols.

En effet, comme toutes les légumineuses fixatrices d'azote, les *Acacia* peuvent assurer :

- L'enrichissement du sol en azote organique par leur utilisation comme engrais verts : la décomposition de leurs racines et leurs différentes parties, dans la litière, libère de l'azote qui est restitué dans le sol et qui sera utilisé par les cultures suivantes [39]. *A. mearnsii* est un fixateur d'azote efficace qui produit 25 MT/ha/an de feuilles fraîches contenant 245-255 kg N.
- La dépollution azotée par leur utilisation comme substituant aux engrais chimiques. La litière de feuilles d'un peuplement moyen de 50 *Faidherbia albida* par hectare réintroduit chaque année dans le sol l'équivalent de 75 kg d'azote, 12 kg de phosphore, 13 kg de potassium, 20 kg de soufre, 25 kg de magnésium et 120 kg de calcium par hectare [40].
- La restauration écologique des sols pauvres grâce à leur aptitude de se développer en tant que plantes pionnières, indépendamment des composés azotés, grâce à leur potentiel fixateur d'azote. En effet, elles peuvent convertir l'azote atmosphérique en une forme pouvant être utilisée par les plantes dans les écosystèmes forestiers ; suite à la restitution dans le sol de leurs feuilles et racines dont l'humus résultant améliore la fertilité et les propriétés du sol. Tel est le cas de certaines espèces dont *A. tortilis* subsp. *Raddiana* et *Acacia salicina* qui améliorent la qualité et la fertilité des sols [41, 42].

3.2.3 AGROFORESTERIE

Les systèmes d'agroforesterie semblent permettre une régénération des sols plus rapide et plus durable que les systèmes de rotation culturale traditionnels utilisant les arbres et les arbustes. Ils se sont surtout développés dans les régions tropicales humides, où la croissance des arbres et la régénération des sols sont plus rapides.

Des tentatives d'utilisation d'*A. senegal* en agroforesterie au Soudan et d'*A. albida* au Tchad n'ont pas connu un grand succès à cause de la sécheresse, en plus d'une surexploitation de la jachère de la 1^{ère} espèce et des conflits politiques au Tchad, alors qu'elle est bien adaptée aux systèmes d'agroforesterie dans les régions à forte pluviosité des zones semi-arides. Mais, dans les régions les plus sèches de l'Inde, *Acacia nilotica*, subsp. *Indica* a été largement utilisée en agroforesterie ; quoiqu'une croissance réduite des cultures sous couvert a été signalé [38]. En outre, *Acacia salicina* peut faciliter l'établissement et la croissance de la végétation du sous-étage, qui a atteint une diversité appréciable, 13 ans après plantation des arbres en zone méditerranéenne [42]. D'autres espèces : *A. seyal*, *A. nilotica*, *A. saligna*, *A. polyacantha* et *A. holoserica* sont utilisés en jachères de 5 – 14 ans en zone soudano-sahélienne et en Sud sahélien. Alors que *A. mangium* et *A. polyacantha* sont utilisées en zone soudano-guinéenne [43].

Toutefois, pour être susceptible de lutter contre l'érosion, d'accroître la fixation d'azote et promouvoir un recyclage efficace des éléments nutritifs, un système agroforestier doit être approprié. D'où la nécessité de choisir une espèce rigoureuse, robuste et bien adaptée qui va enrichir le sol en azote fixé et améliorer la fertilité du sol d'une part et la productivité globale du système d'autre part, sans présenter de risque de devenir envahissante.

3.3 INTÉRÊT SYMBIOTIQUE DES ACACIAS

En plus de leur importance économique et écologique, les acacias, comme d'ailleurs toutes les légumineuses, représentent un système précieux permettant d'examiner les interactions plante – micro-organisme car leur système racinaire peut être colonisé au moins par deux micro-organismes importants du sol : les bactéries *Rhizobium* fixatrices d'azote et les champignons endomycorhiziens arbusculaires (CMA). Ces deux micro symbiotes améliorent la nutrition minérale de la plante hôte en échange des assimilés fournis par cette dernière.

En effet, l'enzyme nitrogénase de *Rhizobium* fixe l'azote atmosphérique dans les nodules racinaires et le transforment en une forme directement assimilable par la plante hôte. Alors que les hyphes fongiques des CMA facilitent l'absorption des ions, principalement le phosphore et améliorent l'alimentation hydrique. Dans la plupart des cas étudiés, en particulier lorsque l'N et le P sont des facteurs limitants, les CMA et les *Rhizobium* semblent agir de façon synergique : la double inoculation par les deux micro-organismes augmente la croissance et la reproduction de la plante plus que l'inoculation avec l'un d'eux et donne des degrés plus élevés de colonisation par les deux symbiotes [44, 45, 46]. Toutefois, certaines études ont montré un effet inhibiteur des symbiotes l'un sur l'autre ou sur la croissance de la plante [47] surtout lorsque l'un des microsymbiotes avait colonisé le système racinaire avant l'autre [48] car l'existence de plusieurs similitudes entre ces deux symbioses suggère des propriétés communes d'interaction avec les plantes.

IMPACT DES DEUX ASSOCIATIONS SYMBIOTIQUES SUR LES ACACIA

L'effet bénéfique de l'inoculation par des souches efficaces de bactéries fixatrices d'azote, sur la croissance des acacias au cours des stades jeunes (plantes en tubes ou en pépinières), et sur le taux de survie des jeunes plants après transplantation, a déjà été prouvé. Cet effet est en étroite relation avec la concentration d'inoculum, la répétition de l'inoculation et la population indigène. Ainsi, l'inoculation répétée des plantes d'*A. saligna*, par *Rhizobium*, augmente leur rendement en matière sèche, le nombre de nodules et leur poids sec, leur contenu en azote total et le taux d'azote fixé (%Ndfa) [49].

Donc, l'inoculation de ces plantes avec des *Rhizobium* convenables est un moyen protecteur de l'environnement pour améliorer leur croissance et leur rendement économique, particulièrement dans les sols dégradés. Martin-Laurent et al. (1999) ont montré que l'inoculation d'*A. mangium* améliore sa survie dans le champ de 10%, quelque soit la souche de *Rhizobium* sélectionnée [50]. Galiana et al (1998) ont revu plusieurs essais d'inoculation dans différents pays (côte d'ivoire et autres pays tropicaux) et ont montré des effets positifs sur la croissance d'*A. mangium*, quelque soit le type de sol et le pays, et l'augmentation était détectable 2 – 3 ans après transplantation [51]. Lal and Khanna (1996) ont également démontré une bonne réponse à l'inoculation au champ d'*A. nilotica* en Inde [52].

Sutherland et al. (2000) ont rapporté une amélioration significative de la croissance et la fixation d'azote chez 7 espèces d'acacias inoculées au Kenya et ont montré que dans certains cas l'inoculation par un mélange de souches était préférable à l'inoculation par une seule souche [53].

Toutefois, cet effet est très controversé après la première année sur le terrain à cause d'une variabilité génétique intraspécifique et interspécifique chez les acacias, qui d'ailleurs a été confirmé par nos études préalables, aussi bien pour le rendement, la nodulation que pour l'absorption minérale surtout azotée et phosphatée. Ce qui nécessite la prise en considération de la biodiversité et l'exploitation de la variabilité génétique des acacias lors des programmes d'aménagement et de lutte contre la dégradation de l'environnement.

Par ailleurs, la croissance des acacias est améliorée par la colonisation endomycorhizienne particulièrement en conditions de stress hydrique. Certaines espèces se sont même révélées être fortement dépendantes de la mycorhization pour atteindre leur développement optimal dans de telles conditions [54], principalement grâce à une absorption minérale nécessaire à la fois à la croissance de la plante et la fixation efficace de l'N₂ [55].

Duponnois et al (2007) ont montré des effets positifs de l'inoculation par *G. intraradices* sur la croissance d'*A. holosericea* après 18 et 30 mois de transplantation [56].

Par ailleurs, Lesueur et Duponnois (2005) ont montré que la symbiose mycorhizienne améliore la croissance des acacias Australiens et le développement de leur symbiose avec *Rhizobium* [57].

4 CONCLUSION

Les acacias présentent un intérêt socio-économique direct grâce à la production du bois, de tanins (*A. mearnsii*), de gommés (*A. seyal*, *A. senegal* et *A. gummifera*), de charbon et d'outils. Plusieurs espèces sont aussi utilisées en alimentation humaine et d'autres ont une grande valeur fourragère. En effet, les phyllodes, les jeunes pousses, gousses et graines, frais ou secs, sont riches en protéines, sont non toxiques et acceptables pour les ovins et les caprins.

De plus, les acacias sont d'importantes plantes fixatrices d'azotes, qui constituent une source d'azote supplémentaire dans l'écosystème.

Mais, elles présentent une certaine dépendance vis-à-vis des Rhizobium pour la FBA et des mycorhizes pour l'absorption des éléments nutritifs en particulier le P, nécessaires pour la croissance. Plusieurs études ont montré que la performance des associations symbiotiques rhizobiennes et/ou mycorhiziennes contrôlées dans l'amélioration significative la croissance des acacias australiens. D'où l'intérêt de la double inoculation endomycorhizienne et par Rhizobium pour l'amélioration des programmes de reforestation des sols dégradés avec des légumineuses à croissance rapide, surtout en zones arides et semi-arides. Ainsi, leur inoculation, en pépinière sous conditions contrôlées, par des souches efficaces et compétitives de Rhizobium et des CMA pourrait également améliorer leur survie et augmenter leur performance dans les systèmes de reboisement. A moins de sélectionner des espèces promiscues capables de former des nodules et fixer l'azote même avec les populations indigènes de Rhizobium.

REFERENCES

- [1] Marcar, N.E., Hussain, R.W., Arunin, S. & Beeton, T. (1991), Trials of Australian and other Acacia species on salt-affected land in Pakistan, Thailand and Australia, in J.W. Turnbull (ed.). Advances in Tropical Acacia Research, ACIAR Proceedings No. 35, pp. 229-232. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- [2] Turnbull, J.W., Midgley, S.J. & Cossaltar, C. (1998a), Tropical acacias planted in Asia: an overview, in J.W. Turnbull, H.R. Crompton & K. Pinyopusarerk (eds), Recent Developments in Acacia Planting. Proceedings of an international workshop held in Hanoi, Vietnam, 27–30 October, 1997. ACIAR Proceedings No. 82, pp. 29–35.
- [3] Evans, H. J., and Barber, L. 1977. Biological nitrogen fixation for food and fiber production. Science, 197: 332 - 339.
- [4] Bethlenfalvay, G. J., and R. G. Linderman 1992. Mycorrhiza in Sustainable agriculture. ASA Spec. Publ., 54. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.
- [5] Guinet, P. et Vassal, J. (1978). Hypotheses on the differentiation of the major groups in the genus Acacia (Leguminosae). Kew Bulletin, 32 (3): 509-527.
- [6] Seigler, D.S., 2003. Phytochemistry of Acacia - Sensolato. Biochem. Syst. Ecol. 31, 845–873.
- [7] Elyousfi, S. M., and O. M'Hirit. 1998. La conservation et l'utilisation des ressources génétiques forestières marocaines : les régions de provenances, pp. 11-18, F. Bani-Aameur, éd., in Actes du colloque international sur les ressources végétales "L'arganier et les plantes des zones arides et semi-arides", Agadir, Maroc.
- [8] Vassal, J. 1998. Les acacias au Sénégal : taxonomie, écologie, principaux intérêts. Pg 15-33. In : Les Acacias au Sénégal. éd. C. Campa, C. Grignon, M. Gueye et S. Hamon. ORSTOM.
- [9] Guinko (1999) Rôle des Acacias dans le développement rural au Burkina Faso et au Niger (Afrique de l'ouest). Pp : 15-51. In : Barreteau, D., Dognin, R. et Graffenried, C. V. (éd.). L'homme et le milieu végétal dans le bassin du lac Tchad. Orstom, Paris.
- [10] McDonald, M.W. & Maslin, B.R. (2000), A Revision of the Salwoods: *Acacia aulacocarpa* Cunn. ex Benth. and its allies (Leguminosae: Mimosoideae: section Juliflorae), Austral. Syst. Bot. 13: 21–78.
- [11] Zhang L., Jiahong Chen, Yongmei Wang, Dongmei Wu and Man Xu. 2010, Phenolic extracts from *A. mangium* Bark and activities. Molecules. 15, 3567-3577.
- [12] Neilsen, W.A, Kube, P.D. & Elliot, H.J. (1998), Prospects for commercial plantations of *Acacia melanoxylon* and *A. dealbata* in Tasmania, in J.W. Turnbull, H.R. Crompton & K. Pinyopusarerk (eds), Recent Developments in Acacia Planting. Proceedings of an international workshop held in Hanoi, Vietnam, 27-30 October, 1997. ACIAR Proceedings No. 82, pp. 94-101. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- [13] Ghouila H., N. Meksi, W. Haddar, M.F. Mhenni, H.B. Jannet. Extraction, identification and dyeing studies of Isosalipurposide, a natural chalcone dye from *Acacia cyanophylla* flowers on wool. Industrial Crops and Products 35 (2012) 31– 36.
- [14] Turnbull, J.W., Crompton, H.R. & Pinyopusarerk, K. (eds) (1998b), Recent Developments in Acacia Planting. Proceedings of the Third International Acacia Workshop, Hanoi, 27–31 Oct 1997. ACIAR Proceedings No. 82. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. 383 pp.

- [15] Bruneton, J. 1999. Pharmacognosie : Phytochimie. Plantes médicinales. Techniques et documentation édition. Pp : 93 – 97.
- [16] Olajuyigbe, O.O. and Afolayan, A.J. 2011. Phytochemical assessment and antioxidant activities of alcoholic and aqueous extracts of *Acacia mearnsii* De Wild. Int. J. Pharmacol. 7, 856–861;
- [17] Yu-Tang Tung, Jyh-Horng Wub, Ching-Yu Hsieh, Ping-Sheng Chen, Shang-Tzen Chang. Free radical-scavenging phytochemicals of hot water extracts of *Acacia confusa* leaves detected by an on-line screening method. Food Chemistry 115 (2009) 1019–1024;
- [18] Shu-Dong Wei, Hai-Chao Zhou and Yi-Ming Lin. Antioxidant Activities of Fractions of Polymeric Procyanidins from Stem Bark of *Acacia confusa*. Int. J. Moecular. Sciences 2011, 12, 1146-1160;
- [19] Olajuyigbe, O.O. and Afolayan, A.J.. In Vitro Antibacterial and Time-Kill Assessment of Crude Methanolic Stem Bark Extract of *Acacia mearnsii* De Wild against Bacteria in Shigellosis. Molecules 2012, 17, 2103-2118;
- [20] JECFA/FAO (1999). Specifications for identity and purity of certain food additives. Food and Nutrition Paper No. 52 (Addendum 7). Rome: FAO.
- [21] Wickens, K. and M. Pennachio, 2001. A search for novel biologically active compounds in the phyllodes of *Acacia* species. Conservation Science W. Aust. 4(3) : 139-144.
- [22] Hmamouchi, M. 1999. Les plantes médicinales et aromatiques Marocaines.
- [23] Encyclopédie des plantes médicinales : Identification, préparation, soins. 1997. Edition: Larousse – Bordas. Pp 156 – 157.
- [24] Omara, E.A., S. A. Nadab, A. R. H. Farraga, W. M. Sharafa, S. A. El-Toumy. Therapeutic effect of *Acacia nilotica* pods extract on streptozotocin induced diabetic nephropathy in rat. Phytomedicine (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.phymed.2012.07.006>
- [25] Bansal V. K, R. K. Goel (2012). Gastroprotective effect of *Acacia nilotica* young seedless pod extract: Role of polyphenolic constituents. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine 523-528
- [26] Sultana B, Anwar F, Przybylski R (2007). Antioxidant activity of phenolic components present in barks of *Azadirachta indica*, *Terminalia arjuna*, *Acacia nilotica*, and *Eugenia jambolana* Lam. trees. Food Chem., 104: 1106-1114.
- [27] Mutai C., Christine Bii, Constantinos Vagias, Dennis Abatis, Vassilios Roussis. Antimicrobial activity of *Acacia mellifera* extracts and lupane triterpenes. Journal of Ethnopharmacology 123 (2009) 143–148.
- [28] Nalawadea, P., Mukherjee, P., Sudhir, K. (2014). Biosynthesis, characterization and antibacterial studies of silver nanoparticles using pods extract of *Acacia auriculiformis*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 129 : 121–124.
- [29] Brand, J., and P. Maggiore, 1992. The nutritional composition of Australian *Acacia* seeds. In: Australian dry-zone *Acacias* for human food. Proceedings of a workshop held at Glen Helen, Northern territory, Australia, 7 – 10 August 1991. A. P. N. House and C. E. Harwood ed. P. 54 – 67; and in: <http://www.hawkesbury.uws.edu.au/-listerp/wattle.htm>
- [30] Thomson, L. 1992. Australia's subtropical dry-zone *Acacia* species with human food potential. In: Australian dry-zone *acacias* for human food. A. P. N., House and C. E. Harwood (ed.). pp. 3 - 36. CSIRO publications, Canberra, Australia.
- [31] Harwood, C.E., Rinaudo, T. and Adewusi, S. (1999). Developing Australian *Acacia* seeds as a human food for the Sahel. *Unasylva* 196: 57–64.
- [32] Nehdi I. A. (Imededdine Arbi Nehdi), Hassen Sbihi , Chin Ping Tan, Hedi Zarrouk , Mutassim Ibrahim Khalil, Saud Ibrahim Al-Resayes Characteristics, composition and thermal stability of *Acacia senegal* (L.) Willd. seed oil. *Industrial Crops and Products* 36 (2012) 54–58.
- [33] Ben Salem H., Nefzaoui A., Ben Salem L., 2002. Supplementing spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *Inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.). Effects on intake, digestion and sheep growth. *J. Agric. Sci. Camb.* 138: 85-92.
- [34] El Euch, F. 1995 Rôle de l'*A. cyanophylla* dans l'alimentation du cheptel en Tunisie. CIHEAM. Options méditerranéennes. Pp : 431-435.
- [35] Devitt, J. 1992. *Acacias*: a traditional aboriginal food source in central Australia. In: Australian dry-zone *Acacias* for human food. A. P. N. House and C. E. Harwood ed., pp: 37 – 53. Proceedings of a workshop held at Glen Helen, Northern territory, Australia. 7 – 10 August 1991. CSIRO publications, Canberra, Australia.
- [36] Whitfield, F. B., S. R. Shea, K. J. Gillen and K. J. Shaw. 1981. Volatile components from the roots of *Acacia pulchella* R. Br. and their effect on *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Aust. J. Bot.* 29: 195 - 208.
- [37] Mulreau, 1998. Desert trees for the near future. In: *Arid Zone Trees*. Vol. 5, issue 12.
- [38] Wickens, G.E., A.G. Seif El Din, Guinko Sita, Ibrahim Nahal. 1996. Rôle des acacias dans l'économie rurale des régions sèches d'Afrique et du Proche-Orient. *Cahier FAO Conservation* 27.
- [39] Dreyfus, B. 2000. *Sesbania rostrata* et *Medicago arborea* : des légumineuses fixatrices d'azote. Dossiers thématiques de l'IRD 'Le jardin planétaire'. www.orstom.fr/fr/inst/actualites/dossiers/jardin/legume.shtml

- [40] Giffard, P.L. (1964). Les possibilités de reboisement en *Acacia albida* au Sénégal. Bois et forêts des tropiques 95:21-33.
- [41] Fterich, A, Mosbah Mahdhi, Mohamed Mars. 2012. Impact of grazing on soil microbial communities along a chronosequence of *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* in arid soils in Tunisia. European Journal of Soil Biology 50 (2012) 56-63
- [42] Jeddi, K. and M. Chaieb 2012. Restoring degraded arid Mediterranean areas with exotic tree species: Influence of an age sequence of *Acacia salicina* on soil and vegetation dynamics. Flora 207 (2012) 693– 700.
- [43] Peltier R. (ed.). 1996. Les parcs à Faidherbia. (Cahiers scientifiques : CTFT, 12). Montpellier : CIRAD-Forêt, 311 p.
- [44] Cluett, H. C., and D. H. Boucher. 1983. Indirect mutualism in the legume Rhizobium – mycorrhizal fungus interaction. Oecologia, 59 : 405 – 408.
- [45] Fikri Benbrahim, K., and M. Ismaili. 2002. Interactions in the symbiosis of *Acacia saligna* with *Glomus mosseae* and Rhizobium in a fumigated and unfumigated soil. Arid Land Research and Management. 16 (4): 365 - 376.
- [46] Tajini, F., Mustapha Trabelsi, Jean-Jacques Drevon. 2012. Combined inoculation with *Glomus intraradices* and *Rhizobium tropici* CIAT899 increases phosphorus use efficiency for symbiotic nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Saudi Journal of Biological Sciences (2012) 19, 157–163
- [47] Franzini, V.I., Azcon, R., Latanze-Mendes, F., Aroca, R., 2010. Interaction between *Glomus* species and *Rhizobium* strains affect the nutritional physiology of drought stressed legume hosts. J. Plant Physiol. 167, 614–619.
- [48] Bethlenfalvay, G. J., M. S. Brown and A. E. Stafford. 1985. Glycine – Glomus – Rhizobium symbiosis. II- Antagonistic effects between mycorrhizal colonization and nodulation. Plant Physiol. 79: 1054 – 1058.
- [49] Fikri Benbrahim, K., M. Ismaili, and M. P. Salema. 1998. Improving biological nitrogen fixation of *Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl. by concentrated inoculant, repeated inoculation and phosphorus addition. In: Harnessing biological nitrogen fixation in african agriculture Challenges and opportunities. S. M. Mpepereki and F. T. Makonese (eds.). pp: 173 - 181. University of Zimbabwe publications.
- [50] Martin-Laurent, F., Frémont M., Lee S.K., Tham F.Y., Prin Y., Tan T.K., Diem H.G. 1999. Effect of inoculation with selected *Bradyrhizobium* spp. on the survival and growth of *Acacia mangium* saplings after 20 months in the field. *Journal of tropical forest science*, 11 (2): 470-483.
- [51] Galiana, A., Prin, Y., Mallet, B., Gahaoua, G.M., Poitel, M. and Diem, H.G. 1994. Inoculation of *Acacia mangium* with alginate beads containing selected Bradyrhizobium strains under field conditions: Long-term effect on plant growth and persistence of the introduced strains in soil. Applied and Environmental Microbiology, 60, 3974–3980.
- [52] Lal, B. and Khanna, S. 1996. Long term field study shows increased biomass production in tree legumes inoculated with *Rhizobium*. Plant and Soil, 184, 111–116.
- [53] Sutherland J.M., Odee D.W., Muluvi G.M., McInroy S.G. and Patel A. 2000. Single and multi- strain rhizobial inoculation of African acacias in nursery conditions. Soil Biology and Biochemistry. 32 (3) 323 – 333.
- [54] Ndiaye, M., E. Cavalli, A.G.B. Manga and T.A. Diop, 2011. Improved *Acacia senegal* growth after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi under water deficiency conditions. Int. J. Agric. Biol., 13: 271–274.
- [55] Cornet, F, H. G. Diem. 1982. Etude comparative de l'efficacité des souches de Rhizobium d'Acacia isolées de sols du Sénégal et effet de la double symbiose Rhizobium / *Glomus mossae* sur la croissance d'*Acacia holosericea* et *A. raddiana*. Bois et Forêts des Tropiques, 198 : 3-15.
- [56] Duponnois, R., C. Plenchette, Y. Prin, M. Ducouso, M. Kisa, A. Moustapha Ba, A. Galiana. Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. Ecological engineering 2 9 (2007) 105–112
- [57] Lesueur, D. and Duponnois, R. (2005). Relations between rhizobial nodulation and root colonization of *Acacia crassicarpa* provenances by an arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus intraradices* Schenk and Smith or an ectomycorrhizal fungus, *Pisolithus tinctorius* Coker & Couch. Annals of Forest Science, 62: 467-474.