

**INFLUENCE DE L'INOCULATION MYCORHIZIENNE ARBUSCULAIRE
SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT DU SESAME
(*Sesamum indicum* L.) AU JEUNE ÂGE**

Titre : INFLUENCE DE L'INOCULATION MYCORHIZIENNE ARBUSCULAIRE SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT DU SESAME (*Sesamum indicum* L.) AU JEUNE AGE

Nom du candidat : M. Seyni BOUREIMA

Nature du mémoire : DEA de Biologie Végétale

Jury :

Président : Dr. Tahir Abdoulaye DIOP

Maître de Conférences / Ucad

Membres : Dr. Arame FALL-NDIAYE

Maître-assistante / Ucad

Dr. Macoumba DIOUF

Directeur général/Isra (Maître de stage)

Dr. Modou SENE

Directeur de Recherche Ceraas/Isra

Résumé

Le sésame (*Sesamum indicum* L.) est une plante oléagineuse alimentaire présentant une valeur nutritionnelle élevée (acides gras : 45 à 55%, protéines : 19 à 25%, vitamines : B, E..., minéraux : Ca, K, Mg, P...) et une haute valeur ajoutée. Au Sénégal, sa culture dont la promotion constitue une priorité pour les pouvoirs publics dans le cadre des stratégies de lutte contre la pauvreté suscite de nos jours un réel engouement auprès des populations rurales. Cependant, la pauvreté des sols et la mauvaise répartition de la pluviométrie rendent difficile la phase d'installation de la plante (jeune âge) qui constitue une phase critique chez le sésame. Cette étude a été réalisée dans le but de contribuer à l'amélioration de la production du sésame par l'utilisation des champignons mycorhiziens arbusculaires (MA) qui pourraient favoriser la tolérance des jeunes plants à une alimentation hydrique et minérale limitantes. Trois expérimentations ont été menées en serre suivant un dispositif en blocs complets randomisés. Dans la première et la troisième, le facteur inoculation (avec les souches *Glomus mosseae*, *G. fasciculatum*, *G. verruculosum* et *G. intraradices*) a été étudié avec les variétés monotige (Ceraas-1-98) d'une part et très ramifiée (Primoca) d'autre part. Pour la deuxième expérimentation portant sur le type botanique semi-ramifié, un facteur variétal (32-15 ; 38-1-7 et Jaalgon 128) et « inoculation » (*Glomus mosseae*, *G. fasciculatum*, *G. aggregatum*, *G. intraradices*, *G. verruculosum*) ont été considérés. Les résultats sur les paramètres agromorphologiques indiquent que les champignons MA favorisent l'augmentation du nombre et de la surface foliaire. La surface foliaire a été augmentée de 45% et de 100% respectivement chez la variété Ceraas-1-98 et chez Primoca. Chez les variétés semi-ramifiées, la surface foliaire s'est accrue de 135% et le nombre de feuilles de 70%. L'inoculation a également augmenté la biomasse aérienne selon les isolats fongiques. Ainsi, chez Primoca, la biomasse aérienne s'est accrue de 65% en moyenne chez les plants inoculés. Chez les variétés semi-ramifiées, la biomasse a été augmentée de manière significative. Une hausse de 44% a été enregistrée chez la variété 32-15 avec la souche *G. mosseae* et 67% pour la 38-1-7 associée avec *G. fasciculatum*. En outre, l'inoculation MA a amélioré le système racinaire par l'augmentation du volume et du poids sec des racines. La souche *G. intraradices* a augmenté le volume racinaire de la variété Jaalgon 128 de 233%. Chez la 32-15 associée avec *G. mosseae* on a enregistré une augmentation de 115%. Chez les variétés Ceraas-1-98 et Primoca, ces paramètres n'ont pas été influencés par l'inoculation au jeune âge. Il ressort d'une part que les réponses à l'inoculation MA sont fonction de plusieurs paramètres dont le type botanique, la variété, l'isolat fongique et la variable mesurée, et d'autre part qu'elles sont plus marquées chez les variétés semi-ramifiées en particulier chez la variété 32-15 associée avec la souche *G. mosseae*.

Mots clés : Mycorhization, croissance, type botanique, Sésame (*sesamum indicum* L.), jeune âge.

DEDICACES

A mes parents

A mes frères et soeurs

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans le concours de plusieurs personnes et organismes que j'aimerais remercier. Mes tous premiers compliments vont à la coopération allemande DAAD pour avoir financé ma formation et à la coopération technique Belge (CTB) qui a financé le projet. Je voudrais remercier mon directeur de mémoire, le Docteur Macoumba Diouf avec qui j'ai effectué mes premiers pas dans le monde de la recherche. Ses conseils et sa rigueur scientifique m'ont été très bénéfiques. Je tiens à lui exprimer ma plus sincère gratitude pour tous ses efforts.

Je tiens également à remercier le Docteur Dogo Seck, Directeur du Centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse (Ceraas) pour m'avoir accueilli dans son centre et pour l'important support logistique et financier mis à ma disposition.

Je ne saurais passer sous silence l'apport considérable du Docteur Tahir dit Abdoulaye Diop à ce projet, notamment en fournissant gracieusement les inoculants endomycorhiziens, en guidant mes premiers pas dans l'étude des interactions plante-microorganismes du sol et en acceptant de juger ce travail. Un merci tout spécial à l'équipe du laboratoire de biotechnologies des champignons (LBC) : El hadji Malick Leye, Malick Ndiaye, Dr Fatimata Ndiaye, Marie Françoise Seck pour leurs contributions et leurs encouragements tout au long de ce travail. Mes remerciements vont également à la grande famille DIOUF à Mbour et à Dakar avec une mention spéciale à Mme Mame Fama KEBE DIOUF.

Je remercie également tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Je ne saurais oublier le concours de l'équipe technique du Ceraas à Bambey notamment MM. Sidy Sidibé et Pape Mamadou Ndiaye sans qui nous ne pourrions jamais stériliser 13 tonnes de sol. Merci pour tout.

Par ailleurs, je remercie tous mes collègues et amis pour leur dynamisme et leur sympathie notamment Hima Maman Karmadini, Ache Billah Kelei Abdallah, Ouattara Bassiaka, Dao Abdalla.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

Aajac/Colufifa : Association africaine de la jeunesse agricole et culturelle/ Comité de lutte pour la fin de la faim

Anova : Analysis of variance

Ceraas : Centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse.

CNRA : Centre Nationale de Recherches Agronomiques

CRS : Catholic Relief Services

Daps : Division de l'analyse et de la prévision des statistiques

Disa : Division des statistiques agricoles

DSDIA : Division de la Statistique, de la Documentation et de l'Information Agricole

FAO : Food and Agricultural Organisation

Isra : Institut sénégalais de recherches agricoles

ITA : Institut de Technologie Alimentaire

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

OUA : Organisation de l'Unité Africaine

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plante fleurie (A), coupe longitudinale de la fleur (B), diagramme floral (C), section de l'ovaire (D), capsule (E) et section d'une capsule de sésame (F)	7
Figure 2 : Évolution des statistiques sur les superficies, la production et les rendements du sésame au Sénégal (période 1994/95-2005/06).....	14
Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai chez la variété Ceraas-1-98 (C-1-98).	20
Figure 4 : Schéma du dispositif expérimental chez les variétés semi-ramifiées.....	21
Figure 5 : Evolution de la température du sol.....	25
Figure 6 : Effet de l'inoculation sur la Surface foliaire de la variété Ceraas -1-98.	29
Figure 7 : Surfaces foliaires en fonction des isolats fongiques chez les variétés semi-ramifiées.....	29
Figure 8 : Surface foliaire selon les variétés (effet variétal)	30
Figure 9 : Effet de l'inoculation sur la surface foliaire de la variété Primoca.	30
Figure 10 : Effet de l'inoculation sur la biomasse aérienne des variétés Ceraas-1-98 (A) et Primoca (B).	31
Figure 11 : Effet de l'inoculation sur la biomasse aérienne des variétés semi-ramifiées.	32
Figure 12 : Taux de colonisation des racines par les isolats fongiques chez les variétés semi-ramifiées (A) ; Effet variétal (B).	33
Figure 13 : Poids sec des racines, ratio racines/tiges, et volume racinaire respectivement de	34
Figure 14 : Effet de l'inoculation sur le poids sec des racines des variétés semi-ramifiées. ..	35
Figure 15 : Effet de l'inoculation sur le ratio racines/tiges des variétés semi-ramifiées (A) ; Effet variétal (B).....	36
Figure 16 : Effet de l'inoculation sur le volume racinaire des variétés semi-ramifiées.....	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Taxonomie des champignons MA d'après Schüssler <i>et al.</i> (2001).	15
Tableau II : Quelques caractéristiques des cinq variétés de sésame étudiées.	18
Tableau III : Solution nutritive minérale de Long Ashton (Hewitt, 1966).	19
Tableau IV : Couples symbiotiques pré-sélectionnés.....	20
Tableau V : Composition physico-chimique du sol utilisé.....	22
Tableau VI : Analyse de variance de la hauteur chez Ceraas-1-98.	25
Tableau VII : Analyse de la variance de la hauteur des variétés semi-ramifiées.	26
Tableau VIII : Analyse de la variance de la hauteur chez Primoca.	26
Tableau IX : Analyse de la variance du nombre de feuilles chez Ceraas-1-98.	27
Tableau X : Analyse de la variance du nombre de feuilles chez les variétés semi-ramifiées.	28
Tableau XI : Analyse de la variance du nombre de feuilles chez Primoca.	28
Tableau XII : Taux de colonisation des racines par les différentes souches chez Ceraas-1-98.	33
Tableau XIII : Taux de colonisation des racines chez Primoca.	33

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1 GENERALITES SUR LE SESAME	10
1.1.1 <i>Systématique</i>	10
1.1.2. <i>Origine, historique et distribution</i>	10
1.1.3. <i>Caractéristiques botaniques</i>	12
1.1.3.1. Appareil végétatif	12
1.1.3.2. Appareil reproducteur	12
1.1.3.3. Système racinaire	15
1.1.4. <i>Phénologie</i>	15
1.1.5. <i>Ecologie</i>	16
1.1.5.1. Température et chaleur.....	16
1.1.5.2. Sols	17
1.1.5.3. Besoins en eau du sésame	17
1.1.5.4. Caractéristiques et choix des variétés.....	18
1.1.6. <i>Acquis sur l'agro-physiologie du sésame au Sénégal</i>	19
1.1.7. <i>Importance de la culture dans le monde et au Sénégal</i>	20
1.2. SYMBIOSE MYCORHIZIENNE	21
1.2.1. <i>Définition et taxonomie</i>	21
1.2.2. <i>Intérêt de la symbiose mycorhizienne pour l'agriculture</i>	22
1.2.2.1 Mycorhization et amélioration de la nutrition hydro-minérale	22
1.2.2.2. Lutte contre les parasites racinaires	24
CHAPITRE II: MATERIEL & METHODES.....	18
2.1. MATERIEL VEGETAL	25
2.2. MATERIEL FONGIQUE	25
2.3. DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX	26
2.4. CONDITIONS EXPERIMENTALES	29
2.5. OBSERVATIONS PHENOLOGIQUES ET MESURES DES PARAMETRES AGRO- MORPHOLOGIQUES	30
2.6. PARAMETRES DE LA MYCORHIZATION	31
2.7. ANALYSES STATISTIQUES	31
CHAPITRE III: RESULTATS & DISCUSSION.....	25
3.1. SUIVI DE LA TEMPERATURE DU SOL.....	25
3.2. EFFETS DE L'INOCULATION SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT VEGETATIF.....	32
3.2.1. <i>Croissance en hauteur</i>	32
3.2.2. <i>Nombre de feuilles et surface foliaire</i>	34
3.2.3. <i>Biomasse aérienne</i>	30
3.3. INFECTIVITE DES SOUCHES ET IMPACT SUR L'ENRACINEMENT	39
3.3.1. <i>Pourcentage de colonisation des racines</i>	39
3.3.2. <i>Dynamique d'enracinement</i>	41
DISCUSSION	44
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	48

INTRODUCTION

Dans les zones semi-arides sahéliennes d'Afrique de l'Ouest, outre le manque d'eau qui est le principal facteur limitant la croissance des plantes, les terres agricoles sont également pauvres en éléments nutritifs comme le phosphore (Diem *et al.*, 1981; Mikola, 1987) ainsi qu'en oligoéléments comme le cuivre et le zinc (Nouaïm, 1994). Cette situation cause de sérieux préjudices au monde rural rendant toute activité agricole difficile et limitant étroitement les rendements agricoles dans les sols de ces régions. Cette précarité de l'activité agricole pousse les populations rurales à un exode massif vers les centres urbains.

C'est dans ce contexte qu'au Sénégal, les pouvoirs publics ont décidé de passer d'une agriculture de subsistance à une agriculture de production en favorisant la diversification des cultures et de trouver des alternatives pour l'exportation. C'est ainsi que le sésame (*Sesamum indicum* L.), compte tenu de ses besoins en eau et en fertilisants modestes, facile à cultiver et très rentable, a été intégré dans le Programme Agricole National (Diouf, 1999a) pour améliorer la nutrition et les revenus des populations rurales au Sénégal.

Le sésame occupe une place très importante dans les pays de la sous-région ouest africaine en particulier (Compaoré, 2004 ; Togola, 2004 ; Amoukou, 2004) et dans le monde en général où les transactions se font essentiellement sous forme de graines (Dabat, 1999). En effet, la graine qui contient 45 à 57% d'huile, 19 à 25% de protéines, des vitamines (B, E...) et des minéraux (Ca, P, Mg...), est très utilisée dans l'alimentation humaine, dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique (pour sa richesse en acides gras essentiels), ainsi que comme additif à la margarine (Weiss, 1971 ; Purseglove, 1984). Le tourteau du sésame est également très indiqué pour l'alimentation du bétail notamment le bétail laitier, les animaux à l'embouche ou comme engrais (Diouf, 2004).

Depuis sa réintroduction en Moyenne Casamance en 1985 par l'Association africaine de la jeunesse agricole et culturelle/ Comité de lutte pour la fin de la faim (Anonyme, 1999 ; CRS, 1999), les superficies emblavées et les productions ne cessent de croître passant respectivement de 1 615 ha en 1994/95 à 52419,5 ha en 2005/2006 et de 640 T en 1994 à 31839 T en 2006 dans les régions du centre (Kaolack) et du sud à sud-est (Kolda et Tambacounda) du pays (DSDIA/Daps, 2006). Cependant, les performances en terme de rendement à l'hectare sont très inégales selon le niveau des intrants utilisés et le soin apporté à la récolte.

Les bons rendements (supérieurs à 1 tonne ha⁻¹) sont souvent limités à quelques opérations intensifiées bien maîtrisées. Mais cette situation s'explique plus par le faible pouvoir d'achat

des producteurs que par l'impossibilité de la plante d'utiliser efficacement des apports de substances nutritives. D'ailleurs, les effets très nets de l'azote et du phosphore, interagissant positivement, ont été mis en évidence tant sur la végétation que sur le rendement en graines (Schilling et Cattan, 1991). Selon Weiss (1971), la carence en phosphore réduit la mobilisation de l'azote et du soufre, la croissance racinaire, la floraison et la formation des graines. Mouton (1995) rapporte également que le phosphore est l'élément nutritif le plus déterminant de hauts rendements en sésame, surtout en irrigué.

Face aux exigences de qualité du marché international (graines sans résidus de pesticides) et dans un souci de protection de l'environnement, la production de sésame biologique est actuellement encouragée.

Dans ce contexte, il convient de mettre au point des solutions moins onéreuses, telles que l'inoculation mycorhizienne, respectueuses de l'environnement et plus durables pour optimiser la nutrition minérale (nutrition phosphatée) du sésame et par conséquent augmenter sa productivité.

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (MA) sont pérennes et permettent une meilleure optimisation de la nutrition hydrominérale (surtout phosphatée) pour la grande majorité des plantes terrestres et sont capables d'aider les plantes auxquelles ils sont associés à tolérer les conditions pédo-climatiques défavorables (Janos, 1983). Les plantes mycorhizées se développent rapidement et mieux dans des sols peu fertiles sans apports nutritifs (Newsham *et al.*, 1995). Selon ces auteurs, cette association assure également la protection sanitaire des plantes en leur conférant une résistance aux pathogènes comme ceux responsables de la fonte des semis.

L'objectif général de ce présent travail est donc de contribuer à l'augmentation de la productivité du sésame par l'utilisation des champignons MA. Il s'agit plus spécifiquement: de caractériser le comportement agro-morphologique des types botaniques ramifié et non ramifié du sésame au jeune âge d'une part et d'évaluer l'efficacité des souches utilisées d'autre part.

Dans le premier chapitre de ce mémoire est présentée une revue de littérature sur le sésame et sur les mycorhizes arbusculaires (MA). Le matériel et les méthodes sont présentés au deuxième chapitre. Les résultats et discussions constituent le troisième chapitre de ce mémoire qui se termine par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Généralités sur le sésame

1.1.1 Systématique

Le sésame appartient à la classe des Dicotylédones, à l'ordre des Lamiales, à la famille des Pédaliaceae et à la tribu des Sésamées (Weiss, 2000 ; Purseglove, 1984 ; Lebrun et Stork, 1997). La famille des Pédaliaceae compte quelques 60 espèces réparties en 16 genres dont *Ceratotheca*, *Dicerocaryum*, *Harpagophytum*, *Holubia*, *Josephinia*, *Linariopsis*, *Pedaliodiscus*, *Pedaliium*, *Pterodiscus*, *Rogeria*, *Sesamothamnus*, *Sesamum*, *Uncarina*.

Le genre *Sesamum* compte quelques 36 espèces incluant le sésame cultivé, *Sesamum indicum*¹L. (Weiss, 2000). En Afrique, on note 17 espèces de *Sesamum* dont deux poussent aussi à l'état sauvage en Inde. *S. indicum* est également connu sous le synonyme *Sesamum orientale* L. Comme autres synonymes, on peut citer *S. edule*, *S. luteum*, *S. oleiferum*, *S. africanum*, *S. foetidum* (Weiss, 1971 ; Demol *et al.*, 2002). Il existe de très nombreuses variétés de sésame qui diffèrent par leurs dimensions, leur forme, le type de croissance, la couleur des fleurs, le calibre, la couleur et la composition des graines (Demol *et al.*, 2002).

1.1.2. Origine, historique et distribution

Parmi les espèces oléagineuses, le sésame est probablement l'espèce la plus anciennement connue et utilisée par l'homme (Weiss, 1971 ; Weiss, 2000) connu également sous le nom de *benniseed*, *gingelly*, *simsim* et de *til* (Kafiriti et Deckers, 2001). Des vestiges archéologiques de sésame datant de 5500 BP ont été découverts dans la vallée d'Harappa en Inde (Ray Langham and Wiemers, 2002). Herodote (484-425 av. J.-C.) signale la présence de la plante dans la vallée de l'Euphrate et note que, dans cette région, on utilise l'huile de sésame à la place de l'huile d'olive (Weiss, 1971 ; Demol *et al.*, 2002). Les romains connurent la plante par les grecs. Nombreux sont ceux qui se souviennent encore de l'expression "sésame ouvre toi" d'Ali Baba et les 40 voleurs utilisée pour ouvrir une grotte remplie de richesses. Cette expression est similaire aux capsules de sésame qui en s'ouvrant peut générer de la richesse. Au premier siècle, l'écrivain latin Columelle, dans son « Traité d'Agriculture », examine les exigences du sésame par rapport au sol, la période des semis, la récolte des graines et les usages de la plante (Demol *et al.*, 2002). Cependant l'origine primaire et l'époque de domestication du sésame sont sujettes à des controverses même si l'origine Africaine serait la plus vraisemblable. En effet, hormis *Sesamum prostratum* Retz toutes les espèces sauvages

¹ Dans la suite du texte, le vocable *S. indicum* désignera l'espèce *Sesamum indicum*.

sont attestées en Afrique (Kafiriti et Deckers, 2001) de même que les variétés résistantes aux infections bactériennes (Weiss, 1971 ; Cobley and Steel, 1976 ; Purseglove, 1984 ; Yahya, 1998 ; Demol *et al.*, 2002).

La Chine, l'Inde et le Japon seraient par contre devenus très rapidement des centres secondaires de diversité (Weiss, 2000 ; Kafiriti et Deckers, 2001). Selon toujours ces auteurs le sésame occupait une importante place dans la région Mésopotamienne pendant la troisième dynastie d'Ur (2130-2000 BC). Ce sont surtout les grecs et les romains qui ont contribué à l'extension de la culture dans tout le bassin méditerranéen.

Le sésame est cultivé dans toutes les régions tropicales et subtropicales. Sa principale distribution se situe entre 25° de latitude nord et 25° de latitude sud. Il a été introduit en Amérique Latine par les portugais, il est entré aux USA à partir de la Caroline du Sud avec le commerce des esclaves (Weiss, 2000). Aujourd'hui sa distribution s'étend jusqu'à 40° de latitude nord en Chine, en Russie, à 30° de latitude sud en Australie et à 35° de latitude sud en Amérique du sud (Westphal and Ferwerda 1985 ; Kafiriti et Deckers, 2001). On le rencontre également en Amérique du nord où les utilisations les plus célèbres sont la garniture du hamburger et les barres sucrées (Weiss, 1971 ; Yahya, 1998).

Le sésame est beaucoup cultivé dans plus de 60 pays. Vavilov et ses collaborateurs cités par Demol *et al.* (2002) distinguent cinq principaux centres de dispersion :

- la région abyssine, centre d'origine de la plante ;
- l'Hindoustan y compris la Birmanie et l'Assam, centre de base d'origine des variétés cultivées ;
- l'Asie centrale (Punjab, Cachemire, Afghanistan) ;
- l'Asie mineure, l'Iran et le Turkménistan où se rencontre la sous-espèce *bicarpellatum* ;
- la Chine, centre secondaire, où, dans les régions montagneuses du centre et de l'ouest, existent des groupes endémiques d'espèces naines.

A côté de ces centres d'origine, il est possible de faire correspondre des groupes géographiques et écologiques bien différenciés, parmi lesquels on peut mentionner les variétés résistantes aux infections bactériennes et à haute capacité de rendement (Afrique), les variétés à haute teneur en huile (Inde), les variétés à fruits composés de 8 locules, caractère récessif (Japon) et les variétés naines (Chine) (Demol *et al.*, 2002).

1.1.3. Caractéristiques botaniques

1.1.3.1. Appareil végétatif

Le sésame est une plante herbacée annuelle à port érigé. Les feuilles généralement de couleur vert-terne sont de formes variables et un même plant présente des feuilles appartenant à différents types. La taille des feuilles varie entre 3 et 17 cm de long et 1 à 1,7 cm de large, le mode d'insertion des feuilles ne répond à aucune phyllotaxie particulière (Djigma, 1984 ; Weiss, 2000 ; Kafiriti et Deckers, 2001).

En effet, les feuilles du bas à limbe triangulaire sont opposées, larges et palmilobées avec un long pétiole (5 cm) alors que les feuilles supérieures sont alternes ou sub-opposées, étroites ou effilées (9 cm x 2 cm) à pétiole court (1-2 cm) et lancéolées au stade floraison. Les stomates et les poils sont présents sur les deux faces (Weiss, 2000).

Dans les conditions optimales de croissance, la hauteur de la tige principale varie de 0,5 à 2m selon les variétés. Elle est généralement quadrangulaire avec des sillons longitudinaux bien marqués mais il existe également des variétés à tige rectangulaire, large et plate (Kafiriti et Deckers, 2001). Les tiges et les rameaux sont légèrement poilus ou très poilus et les variétés sont groupées suivant ce trait (Kafiriti et Deckers, 2001). Selon Weiss (2000), cette pubescence est très souvent associée à une adaptation à la sécheresse. Certaines variétés possèdent peu de rameaux ; d'autres forment des rameaux primaires sur la partie inférieure de la tige principale et des rameaux primaires et secondaires plus haut sur la plante. Le degré de ramification est influencé par l'environnement (Kafiriti et Deckers, 2001).

1.1.3.2. Appareil reproducteur

Le sésame est une plante autogame mais on note un faible taux d'allogamie dû aux insectes pollinisateurs (*Aphis dorsata*, *Aphis florea*, *Megachile umbrapennis*) et plus rarement au vent (Weiss, 1971, 2000). Ainsi, selon Cogley and Steel (1976), moins de 1% proviendrait de la fécondation croisée alors que d'autres auteurs comme Aclaud (1971) puis Schilling et Cattani (1991) rapportent respectivement des taux d'allogamie pouvant atteindre 5% voire exceptionnellement 65%.

Les fleurs sont axillaires, blanches ou roses, avec des taches rouge pourpre (Photo 1). Chaque aisselle comporte 1 à 3 fleurs (Kafiriti et Deckers, 2001). La corolle et le calice sont pubescents à l'intérieur comme à l'extérieur jusqu'à la base d'un court pétiole montrant une paire de glandes à nectar.



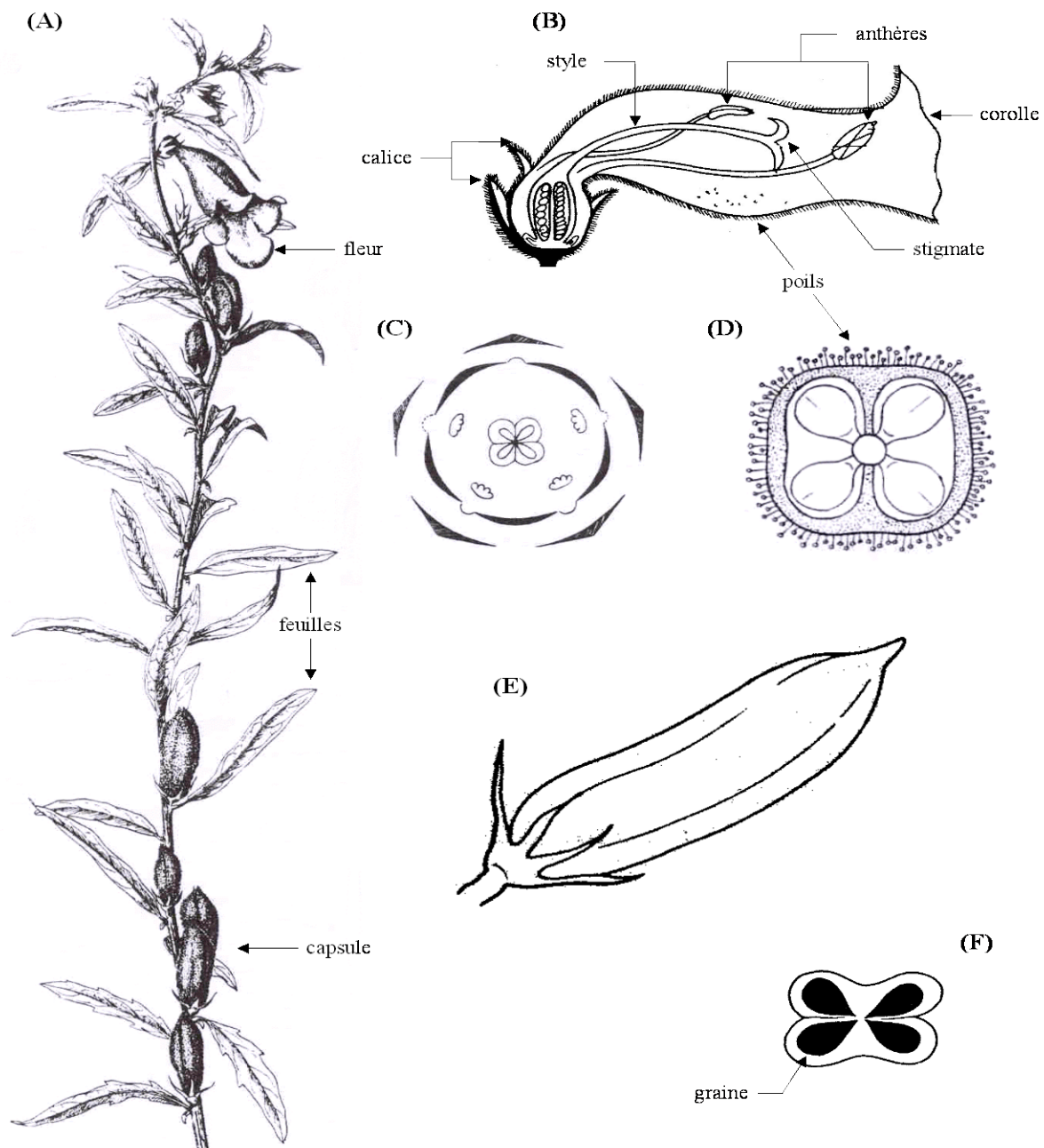
Photo : M. Diouf

Photo 1 : Boutons floraux et fleurs épanouies.

L'androcée comprend 4 étamines fertiles à filets basifixes et blanchâtres et un staminode pouvant dégénérer ou être absente. Ces étamines sont disposées par paire de longueur inégale (Figure 1B). Les grains de pollen sont libérés par déhiscence longitudinale tôt le matin avant l'épanouissement des fleurs et restent viables pendant 24 heures (Weiss, 2000).

L'ovaire, supère, avec deux carpelles soudés (Figure 1D) et subdivisées en 4 loges contenant 15 à 25 ovules à placentation axile (Mazzani, 1964). Le style de couleur crème, long de 1,5 à 2 cm est terminal et simple avec un stigmate bifide à 2 lobes pubescents qui restent réceptifs pendant 3 jours dont un jour avant et deux jours après l'ouverture des fleurs (Mouton, 1995).

Le fruit est une capsule érigée d'environ 2,5 à 4 cm, de section tétragonale à 4 loges, mais ce nombre peut atteindre 6 ou 8 selon les variétés et renferme une soixantaine de petites graines oléagineuses (Ashri and Ladijinski, 1963 ; Kafiriti et Deckers, 2001). La capsule atteint sa taille maximale 9 jours après l'ouverture de la fleur. Les capsules sont profondément cannelées, pubescentes ou glabres (Figure 1E). On peut distinguer des capsules solitaires alternes ou opposées et des grappes de capsules alternes ou opposées.



Sources : De Félice (1967) : (A, B, C et D) ; Cobley and Steel (1976) : (E et F).

Figure 1 : Rameau floral (A), coupe longitudinale de la fleur (B), diagramme floral (C), section de l'ovaire (D), capsule (E) et section d'une capsule de sésame (F)

La majorité des variétés est à capsules déhiscentes à maturité mais il existe également des variétés à capsules indéhiscentes. Dès que les capsules des variétés déhiscentes sont mûres, elles s'ouvrent à partir du sommet vers la base sur environ deux tiers de leur longueur et laissent échapper leurs graines.

Les graines sont petites, ovales, lisses ou réticulées, aplaties et plus pointues au niveau du hile que de l'autre extrémité (Figure 1F), de couleur chamois ou blanchâtre, grise, brune, chocolat ou noire, finement ponctuées (OUA, 1985). Les graines germent généralement dans les 5 jours après semis et restent viables pendant au moins un an, et une dormance aurait été observée (Kafiriri et Deckers, 2001).

1.1.3.3. Système racinaire

Selon Cobley and Steel (1976), le système racinaire est constitué d'une racine principale ou pivot très développée et à croissance initiale rapide pouvant atteindre 90 cm de profondeur et de nombreuses racines secondaires latérales, peu développées mais très denses et superficielles (Photo 2). Cette architecture contribue aux stratégies d'évitement de la sécheresse par la plante. La dynamique du système racinaire est fonction des conditions écologiques et du type variétal. En effet, l'élongation des racines serait plus rapide au niveau des variétés monocaules que chez les variétés ramifiées (Weiss, 1971).



Photo : M. Diouf

Photo 2 : Aspect général du système racinaire du sésame en milieu réel.

1.1.4. Phénologie

Selon les génotypes, le cycle de développement dure 70 à 180 jours (Weiss, 1971 ; Göhl, 1982 ; Purseglove, 1984) et on distingue des variétés tardives (120-180 jours) et des variétés précoces (70-100 jours). Le sésame est une plante sensible à la photopériode ce qui fait que quelque soit le type de variété, la durée du cycle phénologique peut être raccourcie ou allongée en fonction des conditions climatiques (Mulkey *et al.*, 1987). Néanmoins, les variétés précoces sont moins sensibles à la longueur du jour que les variétés tardives (Narayanan and Balakrishna, 1982).

On peut décomposer le cycle en 4 phases phénologiques :

- la phase semis-levée ;
- la phase végétative ;
- la phase de floraison-formation des capsules ;
- la phase de maturation des capsules.

La levée a lieu entre 3 et 5 jours après semis. Elle est fortement influencée par l'état hydrique du sol et la température du lit de semis (Weiss, 1971 ; Purseglove, 1984).

Le stade jeune plant constitue une étape très sensible du cycle phénologique au cours duquel les plants sont particulièrement sensibles à la verse, à l'hydromorphie même temporaire, aux adventices, et aux attaques des ravageurs. Les jeunes plants sont caractérisés par une croissance lente au début correspondant à l'installation du système racinaire suivie d'une période de croissance accélérée.

Selon les variétés et leur sensibilité à la longueur du jour, les premiers boutons floraux apparaissent entre 4, 6 (Guèye, 2000) et 8 semaines après semis et à cette date, seule 4,5% de la matière sèche totale est produite (Narayanan and Balakrishna, 1982).

La maturation a lieu dès l'arrêt de la floraison et de la croissance de la plante. Elle est marquée par un jaunissement progressif des feuilles de la base vers le sommet suivi d'une chute abondante. La récolte intervient lorsque les capsules à partir du bas vers le haut virent du vert au jaune avant leur ouverture et que les feuilles jaunes commencent à chuter (Purseglove, 1984).

1.1.5. Ecologie

1.1.5.1. Température et chaleur

Le sésame est une plante de jour court, qui peut normalement fleurir au bout de 42 à 45 jours après semis (jas) avec une durée d'éclairement de 10 heures par jour (Weiss, 2000 ; Kafiriti et Deckers, 2001). Cependant, des variétés se sont localement adaptées à différentes périodes d'éclairement et il existe actuellement des variétés de jours longs et des variétés de jours courts (Narayanan and Balakrishna, 1982; Purseglove, 1984).

Le sésame est cultivé du niveau de la mer jusqu'à une altitude de 1500 m dans les climats chauds (Purseglove, 1984 ; Weiss, 2000 ; Kafiriti et Deckers, 2001). Cependant, la sélection a permis d'obtenir des variétés adaptées aux conditions des régions tempérées. C'est une plante exigeante en chaleur, pour boucler son cycle (3-4 mois) les besoins en chaleur peuvent atteindre 2700° jours (Suddhiyam *et al.*, 1992 ; Weiss, 1971).

Les températures optimales de germination et de floraison se situent entre 25 et 27°C (Brigham *et al.*, 1995 ; Kafiriti et Deckers, 2001). Les températures basses (inférieures à

20°C) retardent la germination et la croissance et entraînent une abscission des fleurs et une stérilité du pollen alors que les températures élevées (40°C) affectent plutôt la fécondation réduisant ainsi le nombre de capsules (Weiss, 2000). Par contre, en fin de cycle les températures relativement élevées sont bénéfiques pour la teneur et la qualité de l'huile (Weiss, 1971). De plus, on note une interaction significative entre la température et la photopériode sur le niveau d'insertion et la date d'émission du premier bouton floral (Suddhiyam *et al.*, 1992).

En effet, Narayanan and Balakrishna (1982) affirment que les différences observées dans les dates d'apparition des boutons floraux entre les variétés précoces et les variétés tardives sont liées à l'influence de la photopériode.

1.1.5.2. Sols

Le sésame n'a pas d'exigence particulière par rapport au sol (Bapoyo, 1960 ; Seck, 1999). Il peut être cultivé sur une large gamme de sols néanmoins, la plante pousse mieux sur des sols modérément fertiles et bien drainés avec un pH compris entre 5,5 et 8 (OMM, 1991 ; Ramirez et Ovalles, 1991). Les sols trop argileux et asphyxiants ou trop sableux ne sont pas recommandés.

L'application d'azote et de phosphore est essentielle sur les sols pauvres, alors que le potassium est rarement indispensable. En cas de carence en azote, le rendement du sésame baisse et la teneur en huile des graines peut diminuer (Kafiriti et Deckers, 2001). Le phosphore est probablement l'élément nutritif qui permet d'obtenir les rendements les plus élevés en sésame. Des études détaillées menées sur les engrais dans le sud de la Tanzanie ont montré que l'application de 20 à 30 kg ha⁻¹ d'azote et d'une quantité égale de P₂O₅ offre des chances raisonnables d'obtenir un rendement rentable (Kafiriti et Deckers, 2001). En effet, la croissance et le rendement sont réduits sur des terres graveleuses ou sableuses à cause de leur mauvaise rétention de l'humidité (Kafiriti et Deckers, 2001). Par ailleurs la plante est très sensible à la sursaturation en eau même pendant des durées relativement courtes.

Le sésame est sensible à la salinité même s'il montre une grande tolérance durant sa phase germinative (Westphal and Ferwerda, 1985 ; Schilling et Cattán, 1991). D'ailleurs, Cerda *et al.* (1977) ont mis en évidence une réduction de 50% de la production pour une salinité correspondant à un potentiel osmotique de - 0,27 MPa.

1.1.5.3. Besoins en eau du sésame

C'est une plante qui a des besoins en eau modestes et surtout marqués entre le semis et la nouaison (OMM, 1991; Diouf, 2002 ; Boureima, 2005). Ces besoins varient entre 250 et 600

mm selon le type botanique et la durée du cycle (Guèye, 2000 ; Diouf, 2002 ; Boureima, 2005). Selon Weiss (1971), il y a une absorption croissante en eau de la plante de la phase végétative à la floraison indépendamment de la température de l'air. Cet auteur rapporte qu'après la floraison, le taux d'absorption décroît et reste influencé par la température de l'air ($T \leq 30^{\circ}\text{C}$) tandis que le maximum d'absorption apparaît à la floraison et tout stress hydrique à ce stade affectera le rendement.

Praveen and Raikhelkar (1994) ont montré que le coefficient cultural est faible (0,430) pendant la phase d'installation de la culture (0-10 jas) et augmente graduellement avec le développement de la plante (0,680) pour atteindre son pic pendant la phase floraison-formation des capsules (0,841). Du stade remplissage des graines à la phase de maturation, le coefficient cultural diminue (0,437). Lorsqu'il est cultivé dans les zones arides aux Etats-Unis, la plante donne un rendement beaucoup plus élevé avec peu d'eau d'irrigation par rapport à la quantité recommandée pour avoir un rendement maximum chez le coton (Weiss, 2000). Selon cet auteur le sésame donne les plus hauts rendements lorsqu'il est sous régime d'irrigation dans les zones arides à cause du climat chaud et sec qui lui est très favorable.

1.1.5.4. Caractéristiques et choix des variétés

Le choix des variétés doit intégrer les préoccupations des producteurs et des consommateurs à savoir : tolérance au stress hydrique, précocité (durée du cycle) et les potentialités des variétés. Les variétés à grosses graines et à tégument clair sont très appréciées sur le marché (Schilling & Cattan, 1991) plus que les autres (Dabat, 1999).

Pour les besoins de mécanisation, d'autres critères sont également pris en compte (Langham and Wiemers, 2002) et essentiellement :

- la hauteur de la plante : la hauteur maximale acceptable pour une récolte mécanisée est de 150 cm, les hauteurs en deçà étant préférables ;
- la hauteur d'insertion de la première capsule : elle doit être comprise entre 15 et 30 cm selon la hauteur de la barre de coupe de l'engin ;
- le degré de ramification : les variétés monotiges et les moyennement ramifiées sont préférées ;
- la déhiscence : la recherche est centrée sur la mise au point/création de variétés indéhiscentes. En effet, le mode de maturation échelonnée des capsules du bas vers le haut de la plante et leur ouverture avant la maturation complète de celles du sommet occasionne une perte considérable en graines si la récolte n'est pas effectuée à temps opportun.

1.1.6. Acquis sur l'agro-physiologie du sésame au Sénégal

Au cours de ces dernières années, le sésame a bénéficié des efforts de la recherche. Sur le plan agro-physiologique, les travaux de recherches ont porté sur la mise au point d'un paquet technique et d'un matériel végétal adapté aux conditions agro-écologiques des zones de culture.

C'est ainsi qu'une synthèse bibliographique sur la culture du sésame (Diouf, 1999a ; Diouf, 1999b ; Diouf, 2004), une fiche technique (Diouf *et al.*, 2004) et un guide (Ndiaye *et al.*, 2005) comme support à la diffusion des connaissances sur la conduite de cette culture ont été élaborés.

Une collection de variétés dont certaines à haut rendement ont été mises en place pour remplacer les mélanges variétaux très peu performants qui étaient utilisés en milieu paysan. Les capacités germinatives en condition de stress hydrique ou non, les besoins en eau et les performances agronomiques de certains génotypes (Ceraas-1-98, 32-15, 38-1-7, Jaalgon 128, Cross n°3, Yendev 55 et Primoca) ont été déterminés en station et en milieu paysan (Diouf, 2001 ; Diouf, 2002 ; Diouf *et al.*, 2002 ; Fofana, 2003 ; Fofana, 2004 ; Boureima, 2005 ; Diouf *et al.*, 2005a ; Diouf *et al.*, 2005b).

Une caractérisation variétale effectuée à différents stades et basée sur des paramètres physiologiques a permis d'identifier des variétés ramifiées (38-1-7, 32-15, Jaalgon 128 et primoca : Diouf, 2000 ; Isra/ITA/Aajac/Colufifa/Unicom, 2003 ; Guèye, 2002) et variétés (Ceraas-1-98) tolérantes à la sécheresse (Pelletier, 2003).

Un paquet technique a été défini, pour la fertilisation, la dose optimale de 80 kg ha⁻¹ NPK (6-20-10) + 50 kg d'urée a été recommandée (Ndiaye, 2004). Les dates de semis entre le 20 et le 30 juillet avec des densités variant de 83 333 à 222 222 pieds ha⁻¹ peuvent être recommandées pour les variétés ramifiées. Chez les variétés non ramifiées, la densité de 250 000 pieds ha⁻¹ (40 cm x 20 cm) donne la meilleure performance (Bèye, 2003) et pour les dates de semis entre le 30 juillet et le 10 août (Niang, 2004).

Le transfert des techniques culturales a permis d'améliorer les connaissances des producteurs sur le comportement agro-physiologique de la plante notamment, la détermination de la maturité physiologique avant l'ouverture des capsules qui a toujours occasionné des pertes importantes de récoltes d'une part et la phytotechnie d'autre part.

Par ailleurs, les tests variétaux ont permis d'augmenter les rendements en graines de 300 à 800 kg ha⁻¹ en milieu paysan (Diouf, 2003). En outre, la qualité commerciale a été améliorée à partir des variétés proposées à graine de couleur claire, homogène et de gros calibre (Diop, 2002 ; Diouf, 2003). Ainsi, les variétés Primoca, 32-15 pour la région de Kolda, Primoca et

38-1-7 pour les régions de Tambacounda et Kaolack, Cross n°3 et 32-15 pour la région de Fatick ont été recommandées (Diouf, 2002).

1.1.7. Importance de la culture dans le monde et au Sénégal.

Le sésame fait l'objet d'une culture importante en Inde avec 40% des superficies mondiales cultivées de sésame soit 2 à 2,5 million d'ha (Weiss, 2000 ; Kafiriti et Deckers, 2001; Valarmathi *et al.*, 2003), en Chine avec un million d'ha, en Birmanie avec 0,6 million d'ha, au Soudan avec 0,5 million d'ha et au Mexique avec 0,25 million d'ha (Kafiriti et Deckers, 2001 ; Mémento de l'agronome, 2002). Parmi les pays les plus grands exportateurs mondiaux de graines de sésame en 2004, sept se trouvent en Afrique dont deux en Afrique de l'ouest, le Nigéria avec 39 800 tonnes et le Burkina Faso avec 18 107 tonnes (FAO, 2004).

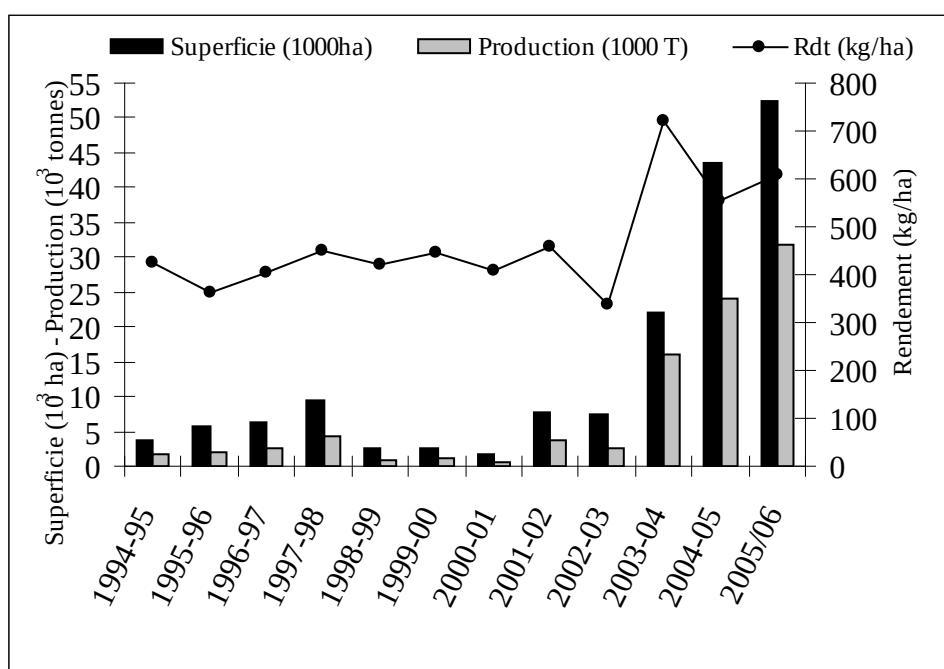
L'Afrique en augmentant significativement sa production depuis 1995, est passée au deuxième rang mondial (25%). Le sésame y est cultivé dans 23 pays dont le Soudan, l'Ouganda et le Nigeria sont les plus gros producteurs. L'Afrique de l'Ouest dont la production est en hausse est très dynamique à l'exportation (Dabat, 1999).

Les échanges internationaux ne portent que sur 25% de la production mondiale, ce qui indique l'importance de l'autoconsommation des pays producteurs, notamment l'Asie. Les transactions touchent essentiellement les graines (94%) avec des prix fluctuants entre 670 et 1532\$ US la tonne (FAO, 2004), suivies de loin par les tourteaux (3%) et l'huile (3%) (Dabat, 1999).

Au Sénégal, la pratique de la culture du sésame est relativement ancienne surtout en Casamance où elle remonte à l'époque coloniale. Après l'indépendance, le sésame avait pratiquement disparu et ce n'est qu'en 1985 qu'il a été réintroduit par l'Association africaine de la jeunesse agricole et culturelle/Comité de lutte pour la fin de la faim (Aajac/Colufifa) en Moyenne Casamance (CRS, 1999). Sa culture qui était localisée surtout dans la région sud du pays est pratiquée de façon significative (apparition dans les statistiques agricoles) à partir de la campagne 1994/1995.

La figure 2 présente l'évolution des superficies, des productions et des rendements du sésame pour la période 1994/95-2005/06. On note une augmentation des superficies qui traduit l'engouement des producteurs pour la culture, même si on n'a pas pu obtenir une adéquation entre emblavures et productions en raison de rendements faibles et stables autour de 350 à 400 kg/ha (Disa/Daps/DSDIA, 1994 à 2004). Toutefois, un relâchement a été enregistré pendant la période 1998-2001 et pourrait traduire un découragement des populations rurales dû à l'absence d'accompagnement par les services techniques (absence d'un itinéraire

technique, de variétés performantes...). Plus récemment, la politique initiée par le Gouvernement du Sénégal dans le cadre du Programme d'Appui au Développement de la Filière Sésame (PADFS) a contribué à l'accroissement des emblavures, de la production et des rendements respectivement de 86,81%, 88,93% et 26,98% entre les campagnes 1994/04 (6 914 ha ; 3 223 tonnes ; 443 kg ha^{-1}) et la campagne 2005/2006 (52 419,5 ha ; 31 839 tonnes ; 607 kg ha^{-1}).



Source des données : Disa/Daps, MAH : résultats des campagnes agricoles 1994/95 à 2005/06

Figure 2 : Évolution des statistiques sur les superficies, la production et les rendements du sésame au Sénégal (période 1994/95-2005/06).

1.2. symbiose mycorhizienne

1.2.1. Définition et taxonomie

Dans la nature, la majorité des végétaux terrestres vivent en symbiose avec les champignons mycorhiziens. Cette association est appelée mycorhize, du grec *mukês* pour champignon et *rhiza* pour racine (Harley & Smith, 1983). C'est une association de type symbiotique, c'est-à-dire que chacun des partenaires engagés tire des profits de cette union. Ainsi, l'association mycorhizienne est basée sur des bénéfices réciproques et s'articule autour d'échanges bidirectionnels entre les partenaires.

On distingue plusieurs types d'association mycorhizienne. Les mycorhizes arbusculaires (MA) constituent les symbioses végétales les plus répandues car elles existent chez plus de 90% des végétaux terrestres (Wang and Qiu, 2006) et leur apparition remonterait entre 353 et 462 millions d'années (Pirosynski & Malloch, 1975 ; Simon *et al.*, 1993).

Une classification récente regroupe les champignons MA sous l’embranchement des Glomeromycota (anciennement Glomales) (Schüssler *et al.*, 2001), Classe des Glomeromycocètes correspondant à 4 ordres et 7 familles (Tableau I).

On dénombre aujourd'hui plus de 150 espèces de champignons MA et on peut présumer qu'il reste encore de nombreuses espèces à répertorier (Dalpé, 1995).

Tableau I : Taxonomie des champignons MA d’après Schüssler *et al.* (2001).

EMBRANCHEMENT : GLOMEROMYCOTA

Classe : Glomeromycocètes

Ordre : Paraglomerales

Famille : Paraglomaceae

Ordre : Archaeosporales

Famille : Archaeosporaceae

Famille : Geosiphonaceae

Ordre : Diversiporales

Famille : Acaulosporaceae

Famille : Diversiporaceae

Famille : Pacisporaceae

Ordre : Glomerales

Famille : Glomeraceae

1.2.2. Intérêt de la symbiose mycorhizienne pour l'agriculture

La mycorhization permet d'augmenter le rendement en biomasse des plantes (Medina *et al.*, 1990; Subramanian and Charest, 1997; Duponnois *et al.*, 2004), d'accélérer la floraison ou la maturation des fruits (Abdoul-Nasr, 1996), de minimiser les effets de la sécheresse, du gel, et d'autres stress environnementaux (Dalpé, 1998 ; Meddich *et al.*, 2004). De plus les mycorhizes améliorent la structure du sol par la formation des agrégats (Bethlenfalvay et Schüepp, 1994 ; Mathias *et al.*, 2006). Une meilleure absorption des éléments minéraux notamment du phosphore, permet d'envisager une réduction d'apports d'engrais tout en conservant à la fois les rendements habituels et la qualité de l'environnement.

1.2.2.1 Mycorhization et amélioration de la nutrition hydro-minérale

1.2.2.1.1. Alimentation hydrique

La disponibilité de l'eau du sol dépend, avant tout des apports c'est-à-dire de la quantité des précipitations ou des irrigations et de la proportion de ces apports qui s'infiltre dans le sol mais elle dépend aussi de la capacité des plantes à prélever l'eau du sol.

L'amélioration de la nutrition en eau résulte de l'important volume de sol exploré par les filaments extramatriciels et de leurs diamètres beaucoup plus fins. En effet, l'utilisation de haricots mutants de type myc révèle qu'on doit environ la moitié de la très forte conductance des stomates par *Glomus intraradices* et *Gigaspora margarita* à la colonisation du sol par les hyphes et l'autre moitié à la colonisation de la plante (Auge, 2004). L'efficacité des souches pourrait donc être au moins en partie fonction de leur capacité à former rapidement un réseau important d'hyphes extra-racinaires. Il a été plusieurs fois observé pour la même espèce végétale et pour des isolats fongiques différents une meilleure stimulation de la croissance pour une infection moindre.

En comparant la croissance et l'alimentation en eau chez le sorgho pour trois niveaux d'humidité du sol, correspondant à 10, 50 et 90% de la capacité de rétention, Sieverding (1981) a observé que la croissance des plants non mycorhizés, pour une humidité du sol de 50%, est plus faible que celle des plants mycorhizés à 10% de la capacité de rétention. Par ailleurs, Guehl *et al.*, (1990) et Ghazi (1998) ont montré que l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plants mycorhizés est significativement supérieure à celles des plants non mycorhizés.

1.2.2.1.2. Phosphates et nitrates

Le phosphore joue un rôle essentiel dans le transfert d'énergie nécessaire à la croissance et l'amélioration de la productivité des plantes et constitue le deuxième élément en importance pour la nutrition végétale. Cependant, dans les conditions naturelles, plusieurs caractéristiques des sols agricoles vont influencer la biodisponibilité du phosphore. En effet, la majorité du phosphore inorganique est adsorbée dans les sols ou précipitée en phosphate d'aluminium et de fer (en sol acide) ou en phosphate de calcium et de magnésium (en sol alcalin) (Bolan, 1991). Un des premiers avantages reconnus des mycorhizes a été l'amélioration de la nutrition phosphatée souvent rapportée comme la principale cause des augmentations des croissances observées chez les plantes (Mosse, 1973 ; Tinker, 1984 ; Michelsen and Rosendahl., 1990). Chez le sésame, Prakash *et al.* (2004) ont montré qu'une application du phosphore à la dose de 15mg kg^{-1} avec les champignons MA constitue une alternative à la fertilisation chimique.

Un grand nombre de propriétés biofertilisantes et biostimulantes des champignons MA ont été démontrées chez de nombreuses espèces agricoles telles que le blé (Khan, 1975), la pomme de terre (Black et Tinker, 1977 ; Niemira *et al.*, 1995), le niébé (Diallo, 1998), le citronnier (Menge *et al.*, 1978), l'orge (Clark et Mosse, 1981), le poireau, l'asperge, le fraisier, l'avoine et le pommier (Plenchette *et al.*, 1982), le piment (Waterer et Coltman, 1989), l'oignon et le coton (Afek *et al.*, 1989; weickel, 1997), le maïs et le soja (Khalil *et al.*, 1994), la tomate (Edathil *et al.*, 1996), l'ail (Koch *et al.*, 1997), le caféier (Sequeira *et al.*, 1998), le jujubier (Bâ *et al.*, 2001).

1.2.2.2. Lutte contre les parasites racinaires

La protection accrue des plantes mycorhizées contre certains parasites racinaires appartenant aux genres fongiques *Phytophthora*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Verticilium*, *Aphanomyces* et aux nématodes des genres *Rotylenchus*, *Pratylenchus* et *Meloidogyne* (Azcon-Aguilar et Barea, 1996 ; De la Pena *et al.*, 2006) permet d'envisager dans certains cas une réduction de l'apport de fongicides et de réduire d'autant leur accumulation dans l'environnement agricole. Certaines études ont démontré la réduction des symptômes causés par des bactéries phytopathogènes du genre *Pseudomonas*, *Erwinia* et *Agrobacterium* (Perrin, 1991 ; St-Arnaud *et al.*, 1995). En outre, on a pu observer que les effets prophylactiques des mycorhizes peuvent se prolonger jusqu'à l'entreposage sur des minitubercules de pomme de terre (Niemira *et al.*, 1996; Niemira, 1997) et sur des carottes (Gotoechan, 1999).

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué par cinq variétés de sésame vulgarisées au Sénégal (Tableau II). Les semences utilisées proviennent de la collection de la station de recherche du Ceraas basée au CNRA de Bambey.

Tableau II : Quelques caractéristiques des cinq variétés de sésame étudiées.

Variété	Cycle (jours)	Type botanique	Rendement (kg ha ⁻¹)		Couleur de la graine	Provenance
			Champ	Station		
Ceraas-1-98	75	Variété	-	625	Blanche	Japon
32-15	90	Moyennement ramifié	686	1590	Blanche	Burkina
38-1-7	90	Moyennement ramifié	-	1455	Crème	Burkina
Jaalgon 128	90	Moyennement ramifié	559	1363	Blanche	Burkina
Primoca	110-120	très ramifié	843	879	Brune	Sénégal

2.2. Matériel fongique

Les isolats fongiques utilisés appartiennent à la collection du Laboratoire de Biotechnologies des Champignons (LBC) du département de Biologie végétale de l'Université Cheick Anta Diop de Dakar (Ucad). Ils sont pour la plupart de souches indigènes, notamment :

- *Glomus mosseae* (Nicholson & Gerd., Gerd.& Trappe, DAOM 227 131) isolé à Diokoul au Sénégal ;
- *Glomus agregatum* (Schenke & Smith emend.Koske, DAOM 227 128) isolé à Djignaki au Sénégal ;
- *Glomus verruculosum* (Blaszkowski et Tadych, DAOM 227 115) isolé à Kabrousse au Sénégal ;
- *Glomus fasciculatum* (Thaxter sensu Gerdmann Gerd., DAOM 227 130 isolé à Louga au Sénégal ;
- *Glomus intraradices* (Schenk et Smith, DAOM 197 198) isolé au Québec au Canada.

Pour la production de l'inoculum, ces souches fongiques ont été multipliées séparément en serre dans des pots de 1,5 kg de capacité.

Le maïs (*Zea mays* L.) a été utilisé comme plante piège et le substrat de culture est constitué par du sable grossier de plage pauvre en phosphore. Le substrat a été préalablement lavé à l'eau courante pour le désaliniser puis stérilisé à 120°C pendant 2 h. Les plants de maïs ont

été régulièrement arrosés avec de l'eau de robinet. En outre, une solution nutritive de Long Ashton (Hewitt, 1966) dont la composition est donnée au tableau III, est apportée tous les quinze jours à raison de 100ml par plant. Après 3 mois de culture, le substrat de culture et le système racinaire sont récoltés et constituent l'inoculum. Cet inoculum est gardé au frais à 4°C jusqu'à utilisation.

Tableau III : Solution nutritive minérale de Long Ashton (Hewitt, 1966).

	L.A
Macroéléments	mg/l
KNO ₃	400
K ₂ SO ₄	350
Ca (NO ₃).4H ₂ O	900
NaH ₂ PO ₄ .H ₂ O	200
MgSO ₄ .7H ₂ O	500
Oligoéléments	mg/l
MnSO ₄	2,5
CuSO ₄ .7H ₂ O	0,25
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,3
H ₃ BO ₃	3,0
NaCl	5,0
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	5 ml/100L
EDTA-Fe (13%) (11g/l)	4 ml

2.3. dispositifs expérimentaux

Dans l'expérimentation 1, portant sur le type botanique monotige avec la variété Ceraas-1-98, un dispositif en blocs complets randomisés a été utilisé (Figure 3) avec l'inoculation comme facteur étudié à 4 niveaux : un témoin non inoculé et inoculation avec chacune des souches *Glomus mosseae*, *G. fasciculatum* et *G. Intraradices*. Ces 4 traitements ont été répétés 4 fois soient 16 unités expérimentales. Chaque unité expérimentale est représentée par deux pots, soit 32 pots au total.

Pour l'expérimentation 2 qui a concerné le sous-type botanique semi-ramifié, deux facteurs ont été étudiés, la variété et l'inoculation (Figure 4). Le facteur variétal est à 3 niveaux : 32-15, Jaalgon 128 et 38-1-7, et le facteur « inoculation » à 4 modalités : témoin non inoculé (T), inoculation avec *G. mosseae*, *G. verruculosum* et *G. fasciculatum* pour 32-15 ; T, *G. mosseae*, *G. fasciculatum* et *G. aggregatum* pour 38-1-7; T, *G. aggregatum*, *G. verruculosum* et *G. intraradices* pour Jaalgon 128. La combinaison de ces différentes modalités coorespond à 12 traitements par bloc répétés 4 fois soit 48 unités expérimentales correspondant à 96 pots ; une unité expérimentale étant représentée par deux pots.

Dans l'expérimentation 3 qui a porté sur le sous-type botanique très ramifié, la variété Primoca, un dispositif identique à celui dans l'expérimentation 1 a été utilisé avec comme modalités : un témoin, les souches *G. mosseae*, *G. verruculosum* et *G. intraradices*. Les différents couples symbiotiques pré-sélectionnés sont présentés dans le tableau IV.

Tableau IV : Couples symbiotiques pré-sélectionnés.

Souches	C-1-98	38-1-7	32-15	Jaalgon128	Primoca
C ₁	Gm	Gm	Gv	Ga	Gm
C ₂	Gf	Gf	Gm	Gi	Gi
C ₃	Gi	Ga	Gf	Gv	Gv

Gv = *Glomus verruculosum*, Gm = *Glomus mosseae*, Gf = *Glomus fasciculatum*,

Gi = *Glomus intraradices*, Ga = *Glomus aggregatum*

C1 = souche la plus performante

C2 = souche la plus ou moins performante

C3 = souche la moins performante

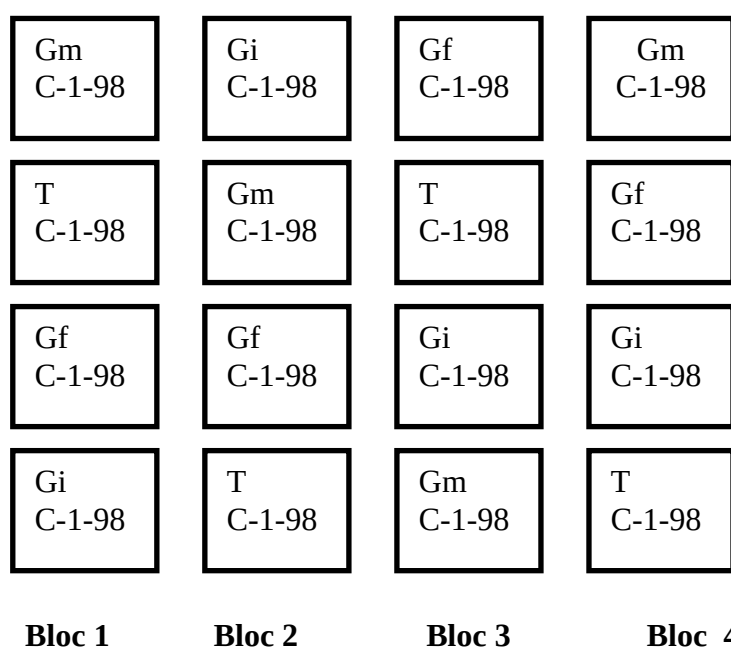


Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai chez la variété Ceraas-1-98 (C-1-98).

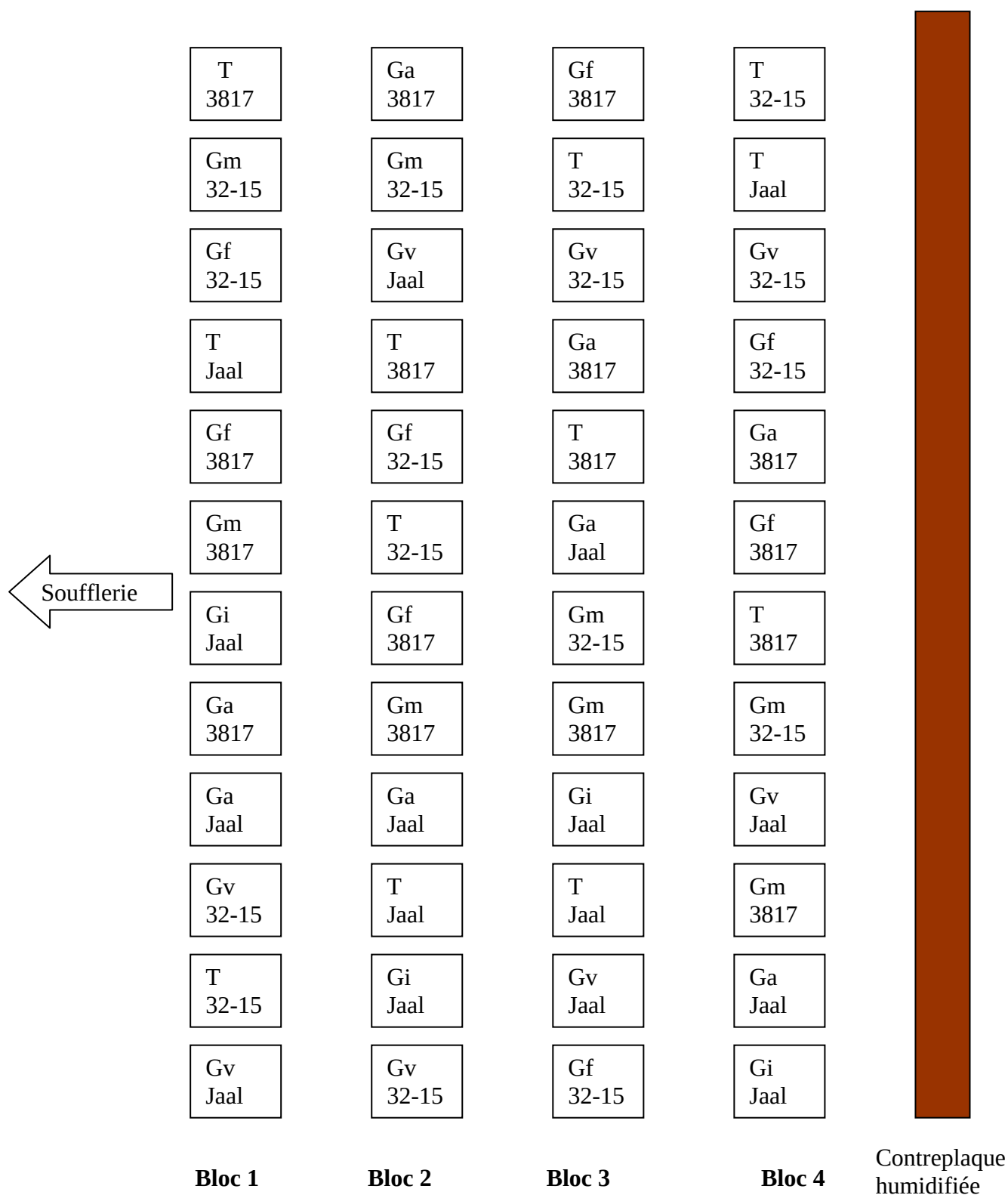


Figure 4: Schéma du dispositif expérimental chez les variétés semi-ramifiées.

T = témoin non inoculé, Gv = *Glomus verruculosum*, Gm = *Glomus mosseae*, Gf = *glomus fasciculatum*, Gi = *Glomus intraradices*, Ga = *Glomus aggregatum*.

2.4. Conditions expérimentales

Les essais ont été conduits en serre au Ceraas, situé dans l'enceinte de l'Ecole nationale supérieure d'agriculture de Thiès (Ensa).

Des pots en plastique de 30 cm de diamètre et 28 cm de hauteur ont été utilisés dans cette expérimentation ; les fonds étant troués et recouverts de graviers stérilisés afin de faciliter le drainage. Chaque pot a été rempli de 15 Kg de sol de type "Dior" prélevé à une profondeur de 0-30 cm sur la sole expérimentale non cultivée du Ceraas au CNRA de Bambey. Le sol utilisé a été préalablement tamisé (diamètre 2 mm) et autoclavé à 120° C pendant une heure sur deux jours consécutifs.

Le tableau V présente la composition physico-chimique du sol utilisé.

Tableau V : Composition physico-chimique du sol utilisé.

Composants	Teneurs
Sables	94,8 %
Argile + Limon.....	5,8 %
Carbone total	2,61‰
Azote total.....	0,29‰
C/N ratio	9,2
Potassium total.....	0,034 meq/100g
Phosphore total	195 ppm
Phosphore assimilable.....	26,77 ppm
Calcium total.....	1,1meq/100g
Magnésium total	0,47meq/100g
pH (sol/eau ratio 1 :2)	5,2
pH (sol/ KCl ratio 1 :2).....	4,3
Humidité à pF 4,2.....	1,67%

Source : AGETIP (2000).

Les pots ont été arrosés à la capacité au champ la veille du semis. Pour l'inoculation, 15g de substrat contenant des spores, du sable et des fragments de racines ont été placés à 2 cm de profondeur puis recouvert du même sable. Le semis a été effectué à raison de 5 graines préalablement traitées à l'hypochlorite de sodium 1% (NaOCl) pendant 3 minutes puis rincées abondamment avec de l'eau distillée stérilisée.

Les pots témoins non inoculés ont reçu chacun la même quantité d'inoculum stérilisé. Une fertilisation qui équivaut à la moitié dose recommandée 40 kg ha⁻¹ de N-P-K (6-20-10), en poudre, a été appliquée comme engrais de couverture à 15 jas.

Le démariage a été effectué à un pied à 14 jas.

Pendant tout le cycle, l'arrosage des plantes a été régulièrement effectué à la capacité au champ au besoin tout en évitant l'engorgement du sol souvent responsable de la mortalité chez les jeunes plantes.

En outre, un suivi phytosanitaire a été effectué tous les jours afin d'apporter des traitements appropriés en cas d'attaque de nuisibles.

La température à l'intérieur des pots a également été suivie en plaçant des sondes HOBO type J thermocouple H12-001#511453 à 10 cm de profondeur.

2.5. Observations phénologiques et mesures des paramètres agromorphologiques

Des observations phénologiques ont été faites sur chaque unité expérimentale et ont porté sur les dates de levée (journalièrement 2 jas), d'émission de la première fleur, de floraison à 50% (journalièrement à partir de la date d'apparition des premiers boutons floraux).

Le suivi de la croissance des plantes au cours du cycle a été effectué une fois par semaine et avait porté sur le nombre de feuilles sur pied (NF) et la hauteur de la plante (HP).

Dès l'apparition du premier bouton floral, un des deux plants de chaque unité expérimentale a été utilisé pour déterminer le volume racinaire selon la méthode de Musick *et al.* (1965). Les racines sont ensuite séchées à l'étuve à 60°C pendant 72 heures et leur poids sec déterminé. Pour la partie aérienne, la surface foliaire a été mesurée à l'état frais à l'aide du scanner LC 4800 et du logiciel Winrhizo version 2004 (photo 3). Le poids des feuilles et des tiges a été déterminé à l'aide d'une balance de précision (10^{-2}) après un séchage à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant (72 heures). Enfin, le rapport biomasse racinaire sèche sur biomasse aérienne sèche a été déterminé.

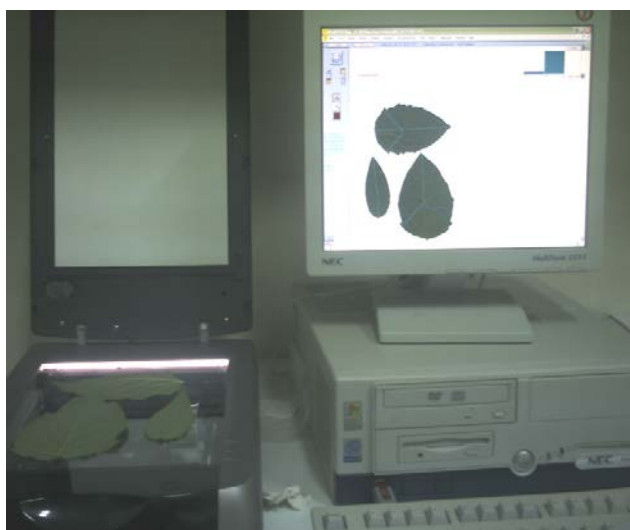


Photo 3 : Détermination de la surface foliaire avec le logiciel Winrhizo.

2.6. Paramètres de la mycorhization

Pour évaluer le taux de la mycorhization, un échantillon de racines fines a été prélevé sur chaque plante. Ces racines ont été soigneusement rincées à l'eau de robinet pour éliminer les particules de sable puis éclaircies dans des tubes à essai contenant du KOH (10%) à 95°C pendant une heure. Elles ont ensuite été abondamment rincées à l'eau de robinet pour éliminer le KOH puis portées au bain marie à 95°C pendant 30 minutes dans un mélange de bleu de trypan (0,05%), colorant spécifique pour les structures fongiques.

Le taux de mycorhization des plantes a été déterminé par la méthode de Gridline intersect method (Giovannetti and Mosse, 1980). Les racines colorées sont étalées dans une boîte de pétri dont le fond est quadrillé et contenant une solution de glycérol puis observées à la loupe binoculaire. A chaque intersection d'une racine avec la grille, on détermine la présence de structures fongiques (spore, vésicule, arbuscule).

2.7. Analyses statistiques

Les analyses de variance (Anova) ont été effectuées sur les variables dépendantes en utilisant la procédure GLM des logiciels SAS v. 9.1 (SAS institute Inc., Cary, NC, USA, 2006), R v.2.4.1 et SPSS v.10.0. Pour la comparaison des moyennes le test de Student Newman-Keuls a été utilisé.

CHAPITRE III : RESULTATS & DISCUSSION

3.1. Suivi de la température du sol

L'évolution de la température à l'intérieur des pots est illustrée sur la figure 5.

Les températures enregistrées dans les pots ont évolué entre 17,5°C et 42,94°C.

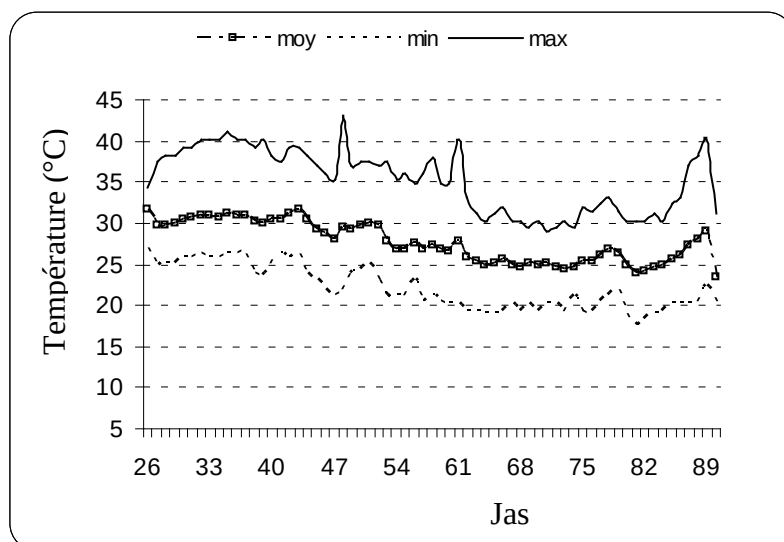


Figure 5 : Evolution de la température du sol.

3.2. Effets de l'inoculation sur la croissance et le développement végétatif

3.2.1. Croissance en hauteur

Les résultats obtenus pour les réponses à l'inoculation MA du type botanique monotige et des sous-types botaniques semi-ramifié et très ramifié sont présentés aux tableaux VI, VII et VIII. L'analyse statistique a révélé que l'inoculation n'a pas d'influence significative sur la taille des plantes de la variété Ceraas-1-98 au jeune âge. Le stade jeune âge étant défini comme la phase levée - apparition des premiers boutons floraux. Il correspond à 30 jas chez la variété Ceraas-1-98.

Tableau VI : Analyse de variance de la hauteur chez Ceraas-1-98.

	Taille des plantes en cm	
	24 jas	31 jas
Isolats fongiques		
Gf	15,13	27,75
Gi	17,38	28,38
Gm	13,3	26
T	15,8	27,56

Gm = *Glomus mosseae*, Gf = *Glomus fasciculatum*, Gi = *Glomus intraradices*, T = Témoin.

Chez les variétés semi-ramifiées, un effet significatif de l'inoculation MA ($P < 0,0497$) a été noté à 31 jas (Tableau VII). La taille des plantes est passée de 18,5 cm chez les témoins à 23,80 cm chez les plantes inoculées avec *Glomus mosseae* ; les souches *G. fasciculatum*, *G. intraradices*, *G. verruculosum* et *G. aggregatum* présentant un comportement intermédiaire entre ces 2 traitements. Par ailleurs, l'Anova a révélé un effet variétal hautement significatif ($P < 1,2 \cdot 10^{-14}$). Il apparaît que l'accroissement de la hauteur a été plus marqué chez la variété 32-15 (29,13 cm) que chez la 38-1-7 (22,41 cm) et la Jaalgon 128 (11,28 cm).

Tableau VII : Analyse de la variance de la hauteur des variétés semi-ramifiées.

	Taille des plantes (cm)		
Niveau de facteur	24 jas	31 jas	38 jas
Ga	12,32	21,59 ^{ab}	48,68
Gf	11,57	19,61 ^{ab}	43,83
Gi	12,60	23,41 ^{ab}	51,58
Gm	12,64	23,80 ^a	50,96
Gv	11,92	21,17 ^{ab}	46,68
Témoin	12,04	18,5 ^b	44,25
Effet « inoculation »	ns	*	ns
32-15	15,91 ^a	29,13 ^a	65,4 ^a
Jaalgon128	5,41 ^b	11,28 ^c	25,59 ^c
38-1-7	15,09 ^a	22,41 ^b	50,16 ^b
Effet « variété »	*	***	***
Inoculation*variété	ns	ns	ns

* significatif à $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$; ns pour non significatif.

Gv = *Glomus verruculosum*, Gm = *Glomus mosseae*, Gf = *Glomus fasciculatum*,

Gi = *Glomus intraradices*, Ga = *Glomus aggregatum*.

Pour chaque colonne et pour chaque traitement les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Chez la variété Primoca l'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les témoins non inoculés et les plantes inoculées quelque soit l'isolat fongique utilisé au jeune âge qui correspond à 42 jas chez cette variété. Un aspect des plantes à la photo 4.

Tableau VIII : Analyse de la variance de la hauteur chez Primoca.

Isolats fongiques	Taille des plantes (cm)			
	24 jas	31 jas	38 jas	45 jas
Gi	9,38	20	31,63	70,25
Gm	8,25	16,13	31,13	75,63
Gv	9,7	18,5	32,5	79,63
T	8,25	16,63	28,8	75,13

Gv = *Glomus verruculosum*, Gm = *Glomus mosseae*, Gi = *Glomus intraradices*, T= Témoin.



Photo 4 : Aspect des plantes de Primoca au stade jeune âge.

3.2.2. Nombre de feuilles et surface foliaire

Le tableau IX donne les résultats de l'Anova du nombre de feuilles chez Ceraas-1-98. Aucune différence significative n'a été notée entre les témoins non inoculés et les plantes inoculées.

Tableau IX : Analyse de la variance du nombre de feuilles chez Ceraas-1-98.

Isolats fongiques	Nombre de feuilles	
	24 jas	31 jas
Gf	6	11
Gi	6	12
Gm	6	12
T	6	12

Gm = *Glomus mosseae*, Gf = *Glomus fasciculatum*, Gi = *Glomus intraradices*, T= Témoin.

Chez les variétés semi-ramifiées, l'influence de l'inoculation a été hautement significative ($P < 0,000427$) au stade jeune âge (Tableau X). A la fin du stade jeune âge, on a enregistré 30 feuilles chez les témoins contre 56 chez les plants inoculés avec la souche *G. mosseae*.

En outre, les variétés répondent différemment à l'inoculation et ce de manière hautement significative ($P < 7,932 \cdot 10^{-5}$). Ainsi, la variété 32-15 présente plus de feuilles (41 feuilles) que la variété Jaalgon 128 (25 feuilles) en fin de jeune âge.

Tableau X : Analyse de la variance du nombre de feuilles chez les variétés semi-ramifiées.

	Nombre de feuilles		
Niveau de facteur	24 jas	31 jas	38 jas
Témoin	5 ^{ab}	14.75 ^{ab}	30 ^{abc}
Gv	4.75 ^{ab}	13.75 ^{ab}	29.25 ^{abc}
Gm	6 ^a	28,5 ^a	55,75 ^a
Gf	6 ^a	22,5 ^{ab}	50 ^{ab}
Ga	4 ^b	9 ^b	18 ^c
Gi	4 ^b	9 ^b	20.5 ^{bc}
Effet « inoculation »	***	**	***
32-15	5.25 ^a	18.87 ^a	41 ^a
Jaalgon 128	4.63 ^b	12.62 ^b	24.66 ^b
Effet « variété »	***	**	***
Variété*inoculation	ns	ns	ns

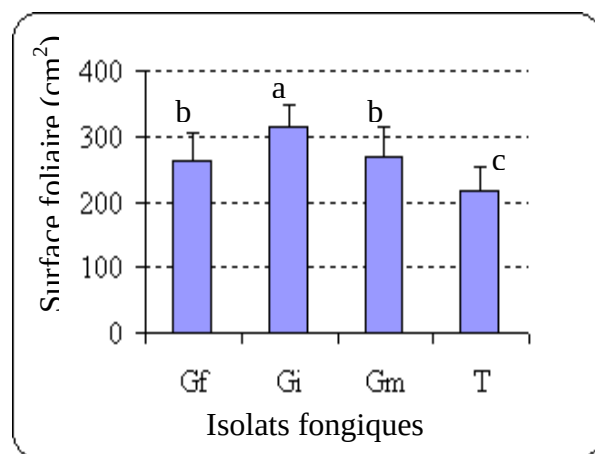
Gv = *Glomus verruculosum*, Gm = *Glomus mosseae*, Gf = *Glomus fasciculatum*, Gi = *Glomus intraradices*, Ga = *Glomus aggregatum*; T=Témoin
 ns = non significatif * significatif à P<0,05 ** P<0,01 *** P<0,001.

Chez la variété Primoca, l'analyse n'a révélé aucune différence significative entre les témoins et les plantes inoculées et ce quelque soit l'isolat fongique. Néanmoins, en fin de stade jeune âge, les plantes inoculées avec *G. mosseae* ont présenté plus de feuilles que les témoins (Tableau XI).

Tableau XI : Analyse de la variance du nombre de feuilles chez Primoca.

Isolats fongiques	Nombre de feuilles			
	24 jas	31 jas	38 jas	45 jas
Gi	5	9	16	49
Gm	5	9	18	60
Gv	6	10	14	59
T	4	8	12	57

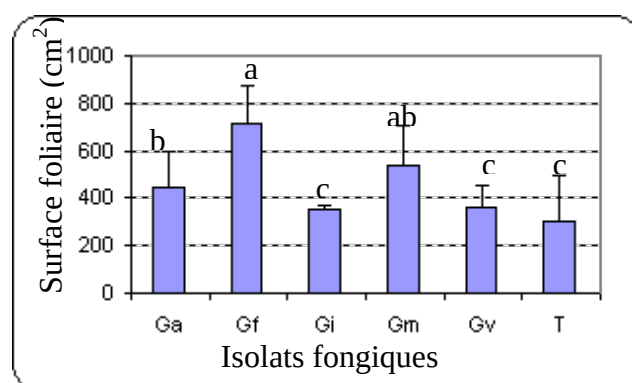
En ce qui concerne la surface foliaire, l'Anova a révélé une influence significative de l'inoculation sur la surface foliaire de la variété Ceraas-1-98 qui est passée de 215,71 cm² chez les témoins non inoculés à 314 cm² chez les plantes inoculées avec *Glomus intraradices* (Figure 6) soit une augmentation de 45%.



Gi = *Glomus intraradices*; Gm = *Glomus mosseae*; Gv = *Glomus verruculosum*; T= Témoin ; Gf = *Glomus fasciculatum*

Figure 6: Effet de l'inoculation sur la Surface foliaire de la variété Ceraas -1-98.

Chez les variétés semi-ramifiées, on note une amélioration significative de la surface foliaire chez les plantes inoculées comparativement aux témoins. La surface foliaire est passée de 304,3 cm² chez les plantes non inoculées à 717,83 cm² chez les plantes inoculées avec la souche *Glomus fasciculatum* soit une augmentation de 135,89% (Figure 7). Par ailleurs, un effet variétal hautement significatif a été noté (Figure 8). Ainsi, la surface foliaire de la variété 38-1-7 est plus importante (616 cm²) que celles de 32-15 (398,2 cm²) et de Jaalgon-128 (336,4 cm²).



Gv = *Glomus verruculosum*, Gm = *Glomus mosseae*, Gf = *Glomus fasciculatum*, Gi = *Glomus intraradices*, Ga = *Glomus aggregatum*, T=Témoin.

Figure 7: Surfaces foliaires en fonction des isolats fongiques chez les variétés semi-ramifiées.

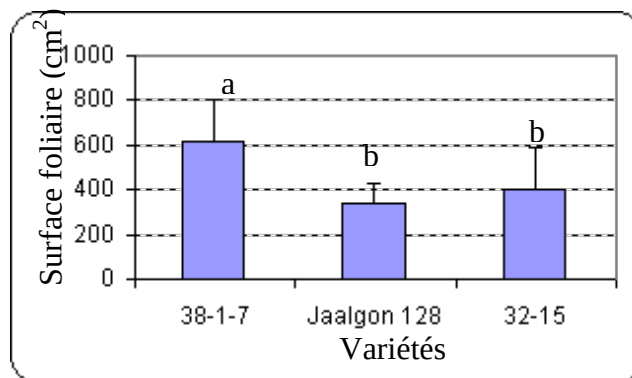


Figure 8 : Surface foliaire selon les variétés (effet variétal)

Pour la variété très ramifiée Primoca, la surface foliaire a été augmentée de 100% en passant de 388,7 cm² chez les plantes non inoculées à 780,57 cm² chez les plantes inoculées avec *Glomus mosseae* (Figure 13).

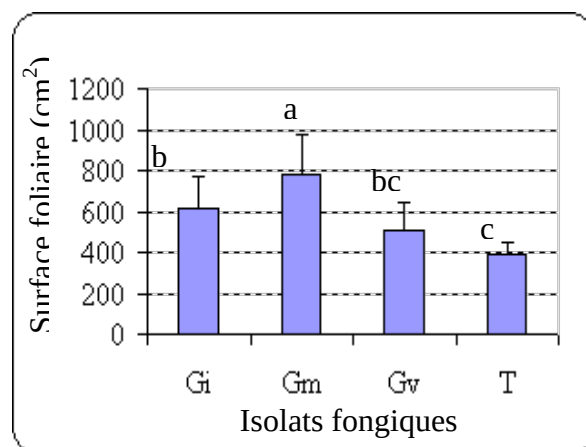
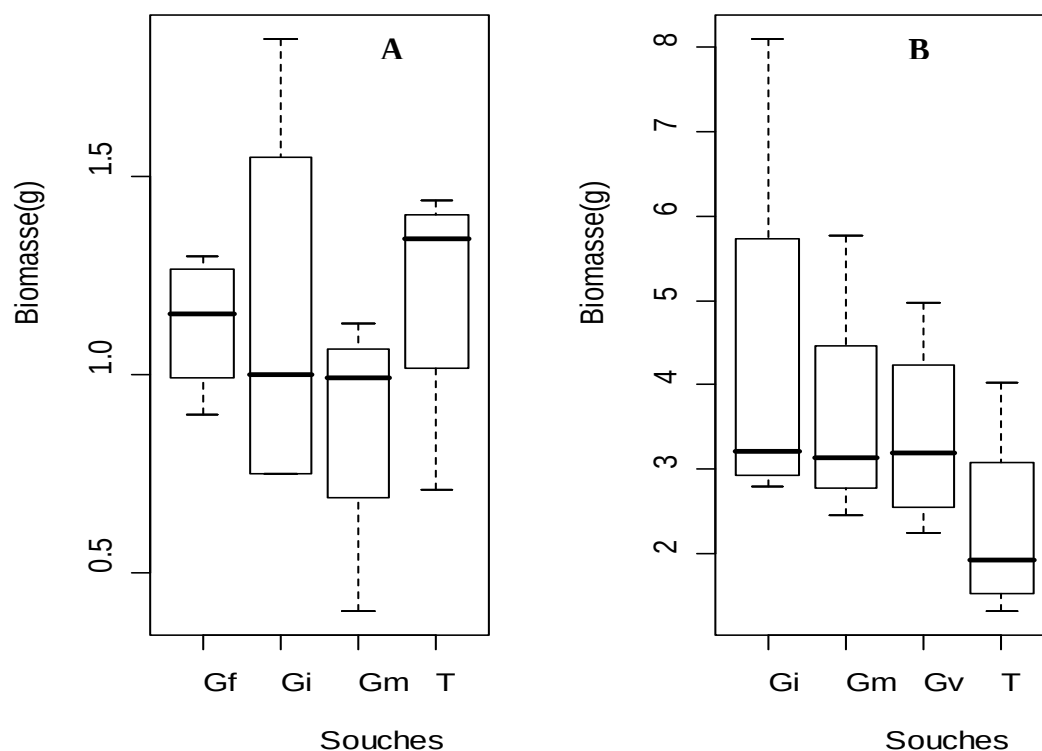


Figure 9 : Effet de l'inoculation sur la surface foliaire de la variété Primoca.

3.2.3. La biomasse aérienne

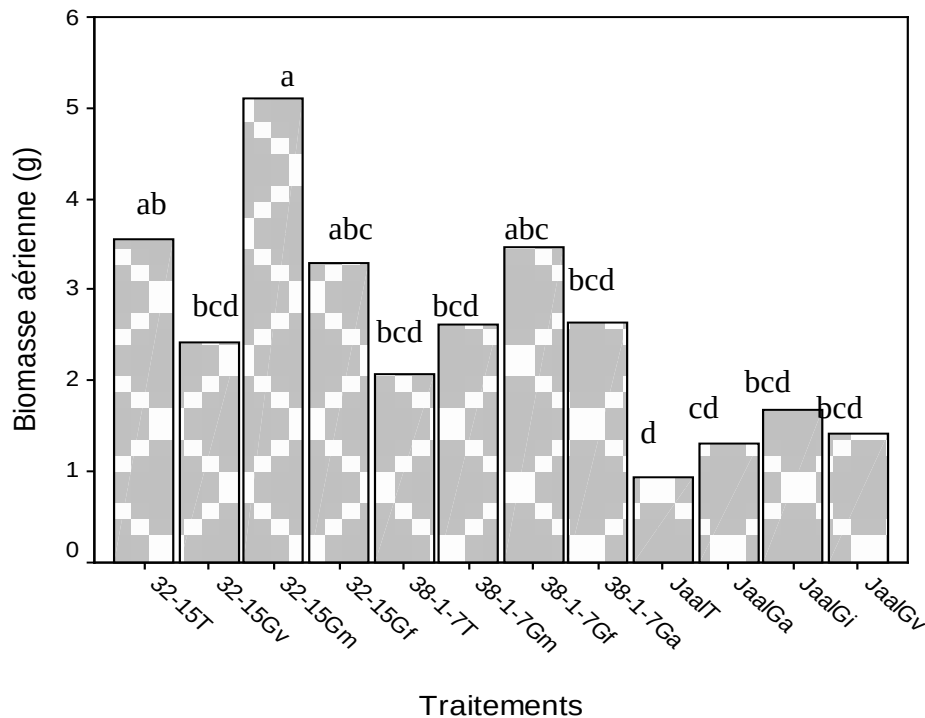
Les résultats relatifs à la matière sèche des parties aériennes ne montrent pas une influence significative de l'inoculation MA sur la variété Ceraas-1-98 (Figure 10A) et sur la variété Primoca (Figure 10B) au stade jeune âge. En effet, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative comparativement aux témoins. Cependant, la biomasse aérienne des plantes inoculées chez la variété Primoca est plus élevée (3,79g/plante) que celle des plantes non inoculées (2,30g/plante) soit une augmentation de 64,78%.



Gf = *Glomus fasciculatum*, Gi pour *Glomus intraradices*, Gm = *Glomus mosseae*, T= Témoin.

Figure 10 : Effet de l'inoculation sur la biomasse aérienne des variétés Ceraas-1-98 (A) et Primoca (B).

Chez les variétés semi-ramifiées, l'analyse statistique a révélé une interaction inoculation x variété hautement significative ($P < 0,0207$). Ainsi, chez la variété 32-15 on obtient un accroissement significatif de la biomasse aérienne (Figure 11) lorsqu'elle est inoculée avec la souche *G. mosseae* (5,12g) comparées aux plantes témoins (3,55g). La souche *G. fasciculatum* a été plus ou moins performante sur cette variété avec une moyenne de 3,28g. Par contre, la variété 38-1-7 produit significativement plus de biomasse aérienne quand elle est associée avec la souche *G. fasciculatum* 3,46g en moyenne par plante inoculée contre 2,07g par plante non inoculée soit une augmentation de 67%. Par ailleurs, une influence significative des souches *G. aggregatum*, *G. intraradices* et *G. verruculosum* est notée sur la matière sèche de la variété Jaalgon-128. Cette variété répond positivement à toutes ces souches avec une moyenne de 1,47g chez les plantes inoculées contre 0,93g chez les plantes témoins.



Gf = *Glomus fasciculatum*; Gi= *Glomus intraradices*; Gm = *Glomus mosseae*; T = Témoin; Jaal = jaalgon 128

Figure 11 : Effet de l'inoculation sur la biomasse aérienne des variétés semi-ramifiées.

3.3. Infectivité des souches et impact sur l'enracinement

3.3.1. Pourcentage de colonisation des racines

Au cours des essais, le pourcentage de colonisation des racines a été estimé dès l'apparition des premiers boutons floraux. Dans l'ensemble tels qu'observés à la loupe binoculaire, les champignons MA étaient principalement constitués d'hyphes intraracinaires et de vésicules. La photo 5 illustre les structures fongiques observées dans les racines fines. Aucune structure fongique n'a été observée chez les plantes témoins.

Pour la variété Ceraas-1-98 les souches *G. mosseae* et *G.fasciculatum* sont similaires dans leur capacité à coloniser les racines et différentes de *G. intraradices* qui a présenté un taux très faible (Tableau XII).

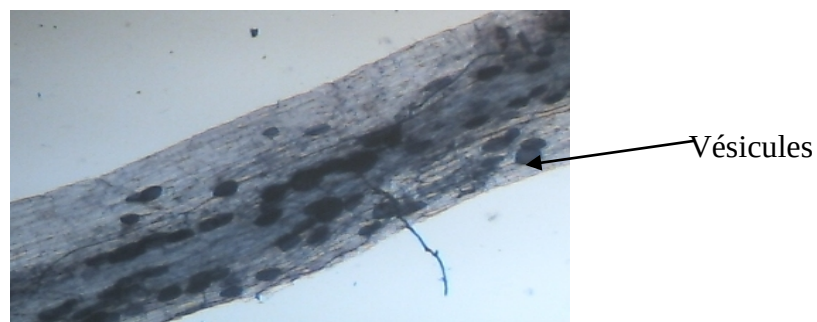
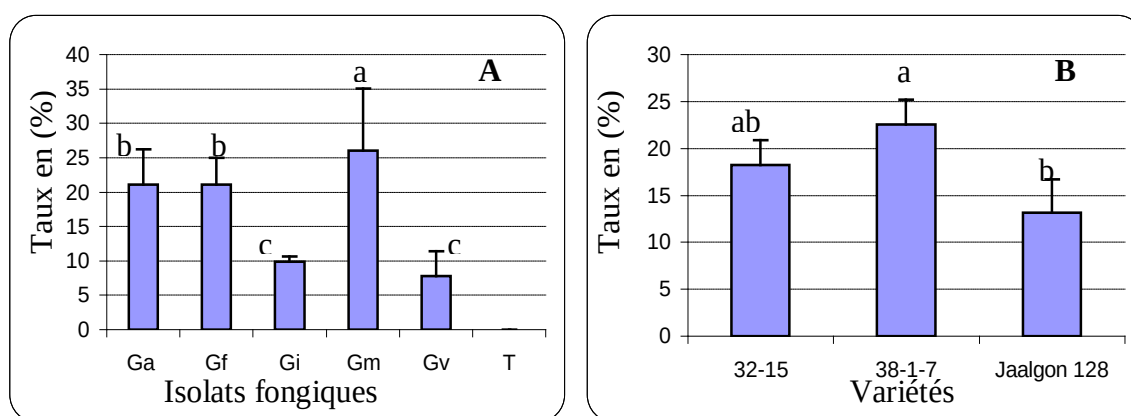


Photo 5: Structures mycorhiziennes dans une racine de sésame.

Tableau XII : Taux de colonisation des racines par les différentes souches chez Ceraas-1-98.

Ceraas-1-98	T	0 ^b
	Gm	17,19 ^a
	Gf	18,68 ^a
	Gi	3,18 ^b

Chez les variétés semi-ramifiées, les souches *G. aggregatum* et *G. fasciculatum* sont similaires avec un taux de colonisation de 21%. La souche *G. mosseae* a présenté un taux de colonisation plus élevé (26%) alors que *G. verruculosum* a moins colonisé les racines (9,5%) (Figure 12A). Par ailleurs, les variétés 38-1-7 et 32-15 ont été les plus réceptives (22 et 18%) comparées à Jaalgon-128 avec un taux de colonisation de 13% (Figure 12B).



Gf = *Glomus fasciculatum*; Gi= *Glomus intraradices*; Gm = *Glomus mosseae*; *Glomus aggregatum*; T= Témoin; Gv= *Glomus verruculosum*

Figure 12 : Taux de colonisation des racines par les isolats fongiques chez les variétés semi-ramifiées (A) ; Effet variétal (B).

Chez la variété Primoca, la souche *G. mosseae* a été la plus infectieuse avec un taux de colonisation de 22,73%. Les souches *G. intraradices* et *G. verruculosum* sont similaires avec respectivement des taux de colonisation de 8,55 et 9,5% (Tableau XIII).

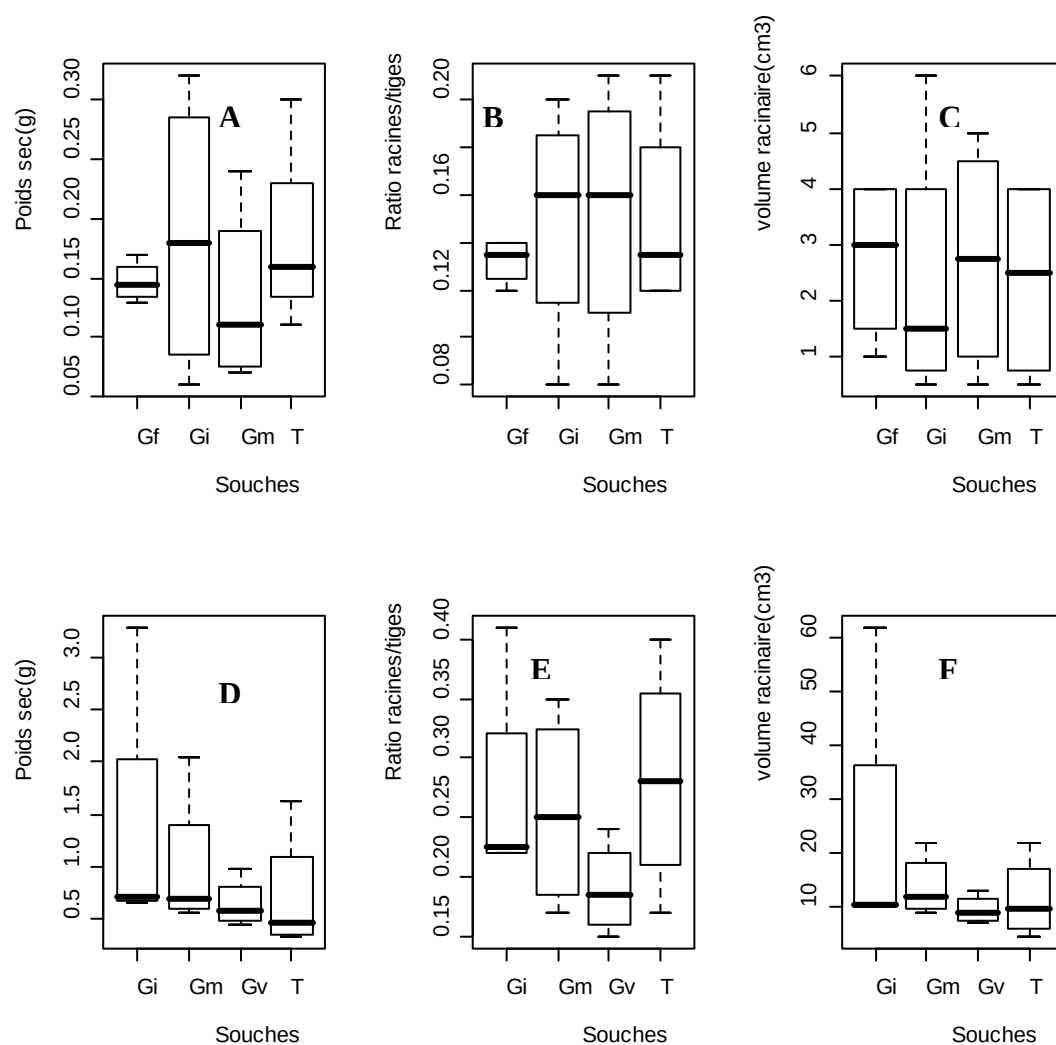
Tableau XIII : Taux de colonisation des racines chez Primoca.

Primoca	T	0 ^c
	Gm	22,73 ^a
	Gi	8,55 ^b
	Gv	9,5 ^b

Gf = *Glomus fasciculatum*, Gi= *Glomus intraradices*, Gm = *Glomus mosseae*; T= Témoin, Gv= *Glomus verruculosum*.

3.3.2. Dynamique d'enracinement

L'Anova n'a pas révélé une influence significative de l'inoculation sur la matière sèche des racines, sur le volume racinaire ainsi que sur le ratio racines/tiges ni pour la variété Ceraas-1-98 ni pour la variété Primoca (Figure 13).



0

Gf = *Glomus fasciculatum*; Gi=*Glomus intraradices*; Gm = *Glomus mosseae*; *Glomus verruculosum*; T= Témoin

Figure 13 : Poids sec des racines, ratio racines/tiges, et volume racinaire respectivement de Ceraas-1-98 (A, B, C) et de Primoca (D, E, F) en présence ou non d'isolats fongiques.

Chez les variétés semi-ramifiées, les plantes de la variété 32-15 inoculées avec la souche *G. mosseae* ont donné une biomasse racinaire plus importante (1,66g/plante) alors que les plus faibles valeurs ont été enregistrées sur la variété Jaalgon 128 inoculée avec la souche *G. aggregatum* (0,29g/plante) (Figure 14). La variété 38-1-7 produit plus de matière sèche racinaire lorsqu'elle est associée avec la souche *G. fasciculatum* (0,98g/plante). Les augmentations de la matière sèche des racines résultant de l'inoculation avec les souches *G. aggregatum*, *G. verruculosum* et *G. intraradices* ne sont pas significativement différentes des biomasses racinaires des plantes témoins.

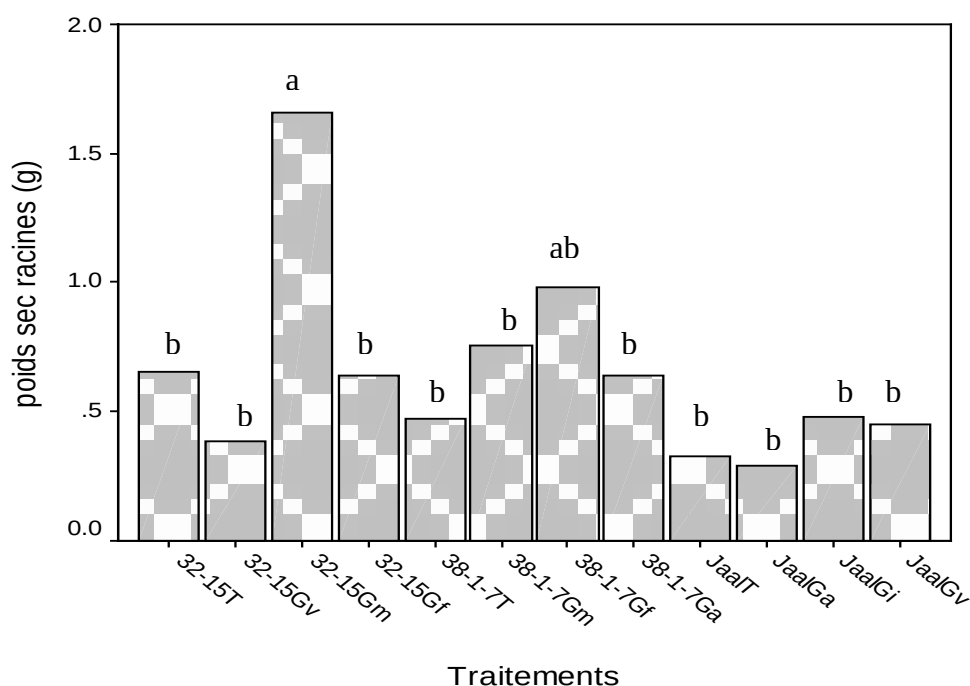
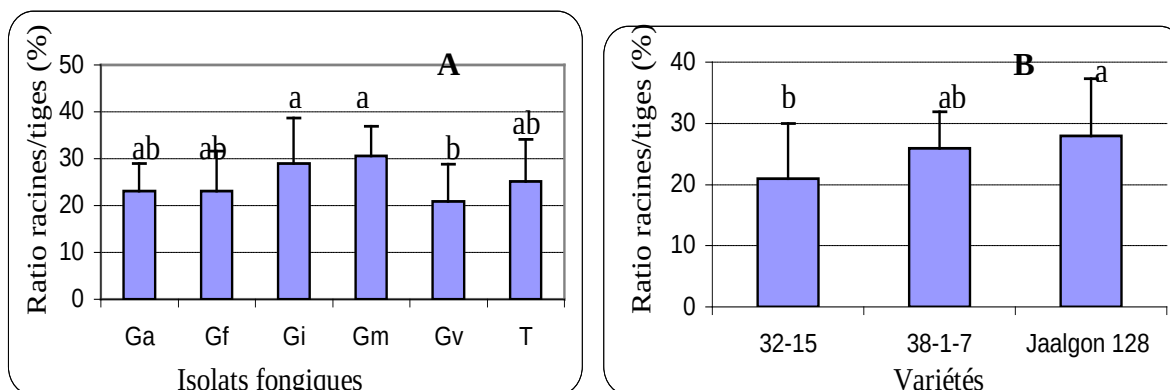


Figure 14 : Effet de l'inoculation sur le poids sec des racines des variétés semi-ramifiées.

Les résultats portant sur le ratio racines/tiges sont présentés à la figure 15. On note une amélioration significative du ratio racines/tiges ($P < 0,023$) chez les plantes inoculées avec la souche *G. mosseae* ou *G. intraradices* (32%) comparativement aux plantes non inoculées (25%). Un effet variétal a aussi été noté. Ainsi, la variété Jaalgon 128 présente un ratio plus élevé (28%) et la variété 32-15 le ratio le plus faible (21%). Quant à la variété 38-1-7, elle a présenté un ratio intermédiaire (26%).



Gf = *Glomus fasciculatum*, Gi=*Glomus intraradices*, Gm = *Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*, T= Témoin;
Gv= *Glomus verruculosum*.

Figure 15 : Effet de l'inoculation sur le ratio racines/tiges des variétés semi-ramifiées (A) ; Effet variétal (B)

Les effets de l'inoculation MA sur le volume racinaire des variétés semi-ramifiées sont illustrés à la figure 16. L'analyse statistique a révélé une interaction souche*variété hautement significative ($P < 0,0082$). Ainsi, le volume racinaire de la variété 32-15 a significativement augmenté lorsqu'elle est inoculée avec la souche *G. mosseae* ($20,50 \text{ cm}^3$) contre $9,50 \text{ cm}^3$ pour les témoins. Par contre la souche *G. mosseae* a été plus ou moins performante sur la variété 38-1-7 ($11,27 \text{ cm}^3$) qui répond plus à l'inoculation quand elle est associée avec la souche *G. fasciculatum* ($13,75 \text{ cm}^3$) comparativement aux témoins (9 cm^3). La variété Jaalgon 128 répond plus avec les souches *G. intraradices* et *G. verruculosum* qui ont des effets similaires avec respectivement des volumes racinaires de $7,5 \text{ cm}^3$ et $4,06 \text{ cm}^3$ comparés aux plantes non inoculées pour lesquels un volume de $2,25 \text{ cm}^3/\text{plante}$ a été enregistré. *G. intraradices* a induit une augmentation du volume racinaire de 233%.

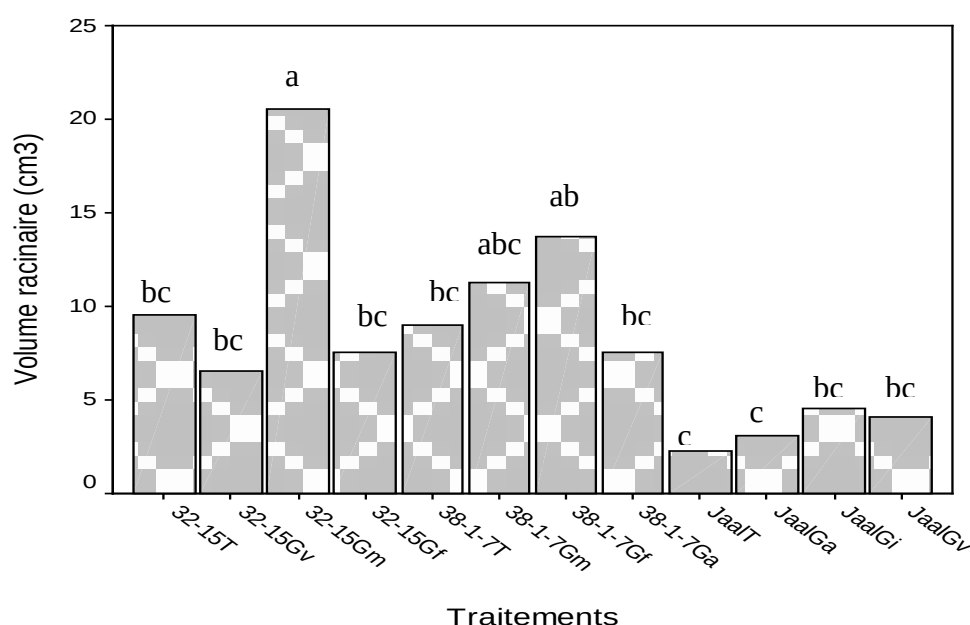


Figure 16: Effet de l'inoculation sur le volume racinaire des variétés semi-ramifiées.

DISCUSSION

Au cours de l'expérimentation, les conditions d'alimentation hydrique ont été satisfaisantes. En effet, les plants ont été maintenus à la capacité au champ durant toute la durée des essais. Le pH du sol utilisé (6 - 6,5) correspond bien à la gamme de 5,4 - 6,7 déterminée par Ramirez et Ovalles (1991) comme celle permettant d'assurer une bonne croissance du sésame.

Développement végétatif

Les températures enregistrées dans les pots ont évolué entre 17,5°C et 42,94°C. Cette gamme de température est bien favorable à la croissance et au développement du sésame. Par ailleurs, les chocs thermiques induisent des effets bénéfiques sur la physiologie des mycorhizes par action directe sur la production des spores et la croissance des plantes colonisées.

L'évolution de la hauteur montre une croissance lente entre la levée et l'apparition des premiers boutons floraux; cette période correspond à la phase d'installation avec un enracinement qui est superficiel et lent.

Les résultats ne montrent pas une amélioration de la croissance en hauteur chez Ceraas-1-98 quelque soit l'isolat fongique utilisé. Ceci pourrait s'expliquer par l'intervalle de temps relativement court entre l'installation de la symbiose et la fin du stade jeune âge.

Par contre, un effet significatif de l'inoculation a été noté à 31 jas chez les variétés semi-ramifiées (32-15, 38-1-7, jaalgon128). La hauteur est passée de 18,5 cm chez les plants témoins à 23,8 cm chez les plants inoculés avec la souche *G. mosseae*. Cette amélioration de la hauteur des plantes par l'inoculation MA a été soulignée par plusieurs auteurs (Diallo, 1998; Meddich *et al.*, 2004 ; Lèye, 2006).

Chez la variété Primoca, l'inoculation n'a pas eu d'effet sur la taille des plants au jeune âge.

En ce qui concerne le nombre de feuilles, la variété Ceraas-1-98 n'a pas été influencée par l'inoculation.

Dans nos conditions d'expérimentation, les résultats ont montré que l'inoculation MA augmente de manière significative le nombre de feuilles chez les variétés semi-ramifiées, une augmentation de 70% a été obtenue sur les plants inoculés avec la souche *G. mosseae*.

Chez la variété Primoca, les plants inoculés avec la souche *G. mosseae* ont présenté plus de feuilles que les témoins en fin de stade jeune âge. L'influence de l'inoculation MA sur le nombre de feuilles a été révélée par Aguilera-Gomez *et al* (1999) chez le piment.

Par ailleurs, les résultats ont montré une amélioration significative de la surface foliaire.

La surface foliaire de la variété Ceraas-1-98 a été significativement augmentée de 45%.

Chez les variétés semi-ramifiées, une augmentation de 135% a été enregistrée chez les plants inoculés avec la souche *G. fasciculatum*. Cependant, les réponses ont été variables suivant les variétés. Ainsi l'augmentation de la surface foliaire était plus marquée chez la variété 38-1-7 que chez Jaalgon 128 et 32-15 qui sont similaires.

Une augmentation 100% a été obtenue chez la variété Primoca. Ces résultats sont en accord avec ceux de Guissou *et al* (2001) qui ont montré que l'inoculation MA augmente significativement la surface foliaire chez *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Zizyphus mauritiana* Lam. et *Tamarindus indica* L.

Effets de l'inoculation MA sur la biomasse aérienne

Les résultats ne montrent pas une influence significative de l'inoculation sur la biomasse aérienne de la variété Ceraas-1-98. Ceci pourrait s'expliquer par la durée relativement courte entre l'effectivité de la symbiose et l'apparition des premiers boutons floraux. En effet, la variété Ceraas-1-98 est une variété précoce de 70 à 75 jours et le dépotage est intervenu à 30 jours après la levée.

Chez les variétés semi-ramifiées, une interaction variété*souche a été notée. Ainsi, l'inoculation a significativement augmenté le poids sec des tiges et des feuilles de la variété 32-15 de 50% lorsqu'elle est associée avec la souche *G. mosseae*. La biomasse aérienne de la variété 38-1-7 a été augmentée de 67% quand elle est inoculée avec *G. fasciculatum*. Les 3 souches *G. aggregatum*, *G. intraradices* et *G. verruculosum* ont eu une influence similaire sur la variété Jaalgon 128 et ont augmenté la biomasse aérienne de 58%.

Chez la variété Primoca, la biomasse aérienne a enregistré un accroissement de 65% en moyenne chez les plants inoculés. Ces faibles réponses obtenues au jeune âge peuvent s'expliquer par le fait qu'à ce stade chez le sésame seulement 4,5% de la matière sèche totale est synthétisée (Weiss, 1971).

Effets de l'inoculation MA sur le système racinaire

Les résultats sur les paramètres du système racinaire indiquent que l'inoculation MA n'a pas d'influence significative sur la matière sèche des racines, le volume racinaire et le ratio racines/tiges de la variété Ceraas-1-98 et de la variété Primoca au stade jeune âge.

Par contre, Chez les variétés semi-ramifiées, les résultats ont montré une amélioration significative de ces paramètres.

Il est à noter que la dynamique du système racinaire est très influencée par les conditions écologiques et le type variétal. En effet, selon Weiss (1971), l'élongation des racines serait plus rapide au niveau des variétés monocaules que chez les variétés ramifiées. Ce qui laisse supposer que l'élongation des racines est aussi plus rapide chez les variétés semi-ramifiées que chez les variétés très ramifiées leur permettant ainsi d'assimiler rapidement les éléments mis à leur disposition comparativement aux variétés très ramifiées comme Primoca. Cette amélioration des paramètres caractéristiques du système racinaire chez les variétés semi-ramifiées a eu comme conséquence une augmentation significative de la biomasse aérienne, de la surface foliaire et du nombre de feuilles.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de caractériser le comportement agro-morphologique de 5 variétés de sésame appartenant aux deux types botaniques notamment la variété et le type botanique ramifié en association avec des champignons mycorhiziens arbusculaires (MA) au stade jeune âge. Cette caractérisation a permis de distinguer les isolats fongiques de par leur capacité à améliorer la croissance et le développement du sésame. Les résultats obtenus ont permis de montrer que l'influence des champignons MA est plus ou moins marquée selon l'isolat fongique, la variable suivie et la variété. Ainsi, pour les paramètres caractéristiques de la croissance végétative, il ressort des résultats que :

- l'inoculation accroît la surface foliaire chez toutes les variétés étudiées. Mais cette augmentation est plus significative chez les variétés semi-ramifiées que chez les variétés très ramifiées et non ramifiées. Le nombre de feuilles des variétés semi-ramifiées (32-15, Jaalgon 128, 38-1-7) a été augmenté de 70% chez les plants inoculés avec *G. mosseae* et la surface foliaire de 135% chez les plants inoculés avec *G. fasciculatum* alors que chez les variétés non ramifiées et très ramifiées, une augmentation de la surface foliaire respectivement de 45% et 100% a été enregistrée ;
- les biomasses aériennes des variétés semi-ramifiées et de la variété très ramifiée Primoca ont été augmentées par l'inoculation. Par contre la variété non ramifiée Ceraas-1-98 n'a pas été influencée au jeune âge ;
- les paramètres caractéristiques du système racinaire (volume, poids sec des racines et le ratio racines/tiges) n'ont été améliorés que chez le sous-type botanique semi-ramifié ;
- l'inoculation MA peut aider le sésame pendant la phase d'installation.

Des études antérieures (Prakash *et al.*, 2004) ont montré que le degré de réponses du sésame à l'inoculation est corrélé au niveau de phosphore dans le sol. Il serait donc souhaitable de poursuivre ces travaux en champ avec différents niveaux de concentration de phosphore afin de déterminer la dose économique qui permet une réponse optimale des différents types botaniques à l'inoculation. Ceci permettra aussi de tester les différents isolats fongiques pour leur capacité à améliorer la croissance du sésame sur sol non stérilisé.

Cette étude a été conduite en condition d'alimentation hydrique satisfaisante et a permis d'identifier les meilleurs couples symbiotiques. Ces couples doivent être testés en condition d'alimentation hydrique variée pour évaluer leur capacité à aider les plantes à surmonter les stress abiotiques (stress hydrique). Enfin, des tests multi-locaux des différentes variétés associant ces isolats fongiques pour compléter la carte variétale du sésame.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aboul-Nasr A., 1996.** - Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on *Tagetes erecta* and *Zirinis elegans*. *Mycorrhiza*, 6: 6 1-64.
- Aclaud J. D., 1971.** - East African crops. *Sesamum indicum* L., 170 - 172. FAO, Longman group ltd, London, 252p.
- Afek U., E. Rinrldelli, J.A. Menge, E.L.V. Johnson, Pond E., 1989.** - Mycorrhizal species, root age, and position of mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion, and pepper seedling. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115: 938-942.
- Amoukou I.A., 2004.-** Amélioration de la production de sésame : une alternative pour lutter contre la pauvreté au Sahel, Document de projet, UAMN, Faculté d'agronomie, Niamey, 6p.
- Arifa F. B., Le Tacon F., Garbaye J., Ba A., Diagne O., Gia Dem H., 1989.-** L'importance des symbioses racinaires pour les arbres forestiers en zone tropicale sèche et en zone tropical humide. In: *Trees for development in sub-saharian Africa*, IFS, Stockholm, pp. 302-318.
- Ashri A., Ladijinski G., 1963.** - Anatomical effects of the capsule dehiscence alleles in sesame. *Crop Sci.*, 4 (2): 136- 138.
- Auge R. M., 2004.** - Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can.j. soil sci.*, 84 (4): 373-381.
- Azcon R., Ocampo J. A., 1981.** - Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytologist* 87: 677-685.
- Azcon-Aguilar C., Barea JwM., 1996.** - Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-bom plant pathogens. An overview of the mecanisms involved. *Mycorrhiza*, 6: 457- 463.
- Bâ A., Guissou T., Duponnois R., Plenchette C., Sacko O., Sidibé D., Sylla K., Windou B., 2001.** - Mycorrhization contrôlée et fertilisation phosphatée : applications à la domestication du jujubier. *Fruits* 56: 261-269
- Bago B., Pfeffer P.E., Shachar-Hill Y., 2000.** - Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant Physiology*, 124: 949-957.
- Bapoyo M., 1960.** - Les oléagineux en République Centrafricaine. *Oléagineux*, 15 (5): 383-388.
- Baylis G.T.S., 1975.** - The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. In: *Endomycorrhizas* (eds F.E. Sanders, B. Mosse and P.B. Tinker). Academic Press, london, UK.
- Bethlenfalvay G.J., Schüepp H., 1994.** - Arbuscular mycorrhizas and agrosystem stability. In: *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. S. Gianinazzi et H. Schüep (éds), ALS, Birkhauser, Basel, pp. 117-131.
- Bèye G., 2003.-** Effet de la densité de semis sur la croissance et la productivité de deux types botaniques du sésame (*Sesamum indicum* L.) au Sénégal. Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Thiès, 59p.

- Black R.L.B., Tinker P. B., 1977.** - Interaction between effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza and fertiliser phosphorus on yields of potatoes in the field. *Nature*, 267: 510-511.
- Bonfante-Fasolo P., 1984.** - Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. Dans: Powell C.L. et D.J. Bagyaraj (éds). *VA mycorrhiza*, CRC press, Boca Raton, Florida, pp. 5-33.
- Boureima S., 2005.**- Besoins en eau, croissance et productivité chez le type botanique ramifié du sésame (*Sesamum indicum* L.) en zone semi-aride du Sénégal. Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Thiès, 60p.
- Brigham R.D., Hopper N.W., Kyauk.H., 1995.**- Effects of temperature and presoaking on germination, root length and shoot length of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Elsevier Science Ltd*, 35 (3): 345-351.
- Cerda A., Bingham F.T., Hoffman G.J., 1977.** - Interactive effect of salinity and phosphorus on sesame. *Soil sci. Soc. Am. J.*, 41 (5): 915-918.
- Clark C., Mosse B., 1981.** - Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. Clarkson (éds), the development and function of roots, *Academic Press*, New York, pp.575-579.
- Cobley L.S., Steel W.M., 1976.**- An introduction to the botany of tropical crops. Second edition, *The English language book society & London Group Ltd*, London, 371p.
- Compaoré E., 2004.**- Sésame biologique : développer des techniques de production peu coûteuses et soucieuses de l'environnement, Document de projet, INERA, Ouagadougou, 2p.
- CRS (Catholic relief Services), 1999.**- Actes du Forum des acteurs de la filière sésame, du 15 au 18 juin à Faoune, Région de Kolda, 53p.
- Dabat M.H., 1999.**- [www.cirad.fr \(sésame\)](http://www.cirad.fr/sesame), les publiques CIRAD, 6p.
- Dalpé Y., 1995.**- Systématique des endomycorhizes à arbuscules : de la mycopoléontologie à la biochimie. Dans : Fortin, J.A., C. Charest et Y. Piché (éds), *La Symbiose Mycorhizienne. Etat des connaissances*, Éditions Orbis Publishing, Québec, Canada, pp. 1 -20.
- Dalpé Y., 1998.** - Biodiversity of mycorrhizal fungi. Electronic publication prepared for the Review of biodiversity in the Canadian agricultural soils.
Http: //res2.agr.ca
- Daps, 2006.**- Résultats définitifs de la campagne agricole 2005/06, DSDIA/DAPS, Dakar, 4p.
- De Félice P., 1967.**- Guide pour l'étude de quelques plantes tropicales. *Gauthier-Villars*, Paris, 127p.
- De la Pena E; Echeverria SR., Putten WH., Freitas H., Moens M., 2006.**- Mechanism of control of root-feeding nematodes by mycorrhizal fungi in the dune grass *Ammophila arenaria*. *New phytologist*, 169(4):829-840.
- Demol J., Baudoin J.-P., Louant B.-P., Maréchal R., Mergeai G., Otoul E., 2002.**- Amélioration des plantes : Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales, *les Presses agronomiques de Gembloux*, Gembloux, 581p.
- Diallo A. T., 1998.**- Contribution à l'étude taxonomique et écologique des Glomales et de l'influence de la mycorhization avec *Glomus mosseae* et *Glomus versiforme* sur la croissance et la productivité du niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Cultivé en

- condition de déficit hydrique. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle de Biologie végétale, UCAD, 113p.
- Diem H.G., Gueye I., Gianinazzi-Pearson V., Fortin J.A., Dommergues Y. R., 1981.** - Ecology of VA mycorrhizae in the tropics: The semi-arid zone of Senegal. *Acta Oecologica / Oecologia Plantarum*, 16: 53-62.
- Diop M., 2002.**- Effet de l'interaction génotype x milieu sur la croissance et la productivité du sésame (*Sesamum indicum* L.) au Sénégal. Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Thiès, 93p. + ann.
- Diouf M., Sarr B., Diop M., 2002.**- Esquisse de carte variétale du sésame au Sénégal. ISRA-Ceraas, Thiès, 1p.
- Diouf M., 1999a.**- Programmes d'activités de recherches : Evaluation agronomique, caractérisation du comportement morpho-physiologique du sésame (*Sesamum indicum* L.) en zone semi aride du Sénégal, CERAAS, Thiès, 8p.
- Diouf M., 1999b.**- Synthèse sur la culture du sésame (*Sesamum indicum* L.), CERAAS, Thiès, 7p.
- Diouf M., 2000.**- Effet du déficit hydrique sur le comportement agro-morphologique et physiologique de trois variétés de sésame (*Sesamum indicum* L.). Poster, ISRA-CERAAS, Thiès.
- Diouf M., 2001.**- Besoins en eau, croissance et productivité du sésame (*Sesamum indicum* L.) en zone semi-aride du Sénégal. Mémoire de titularisation, ISRA-CERAAS, Thiès, 63p. + 7 ann.
- Diouf M., 2003.**- Rapport final des campagnes 2000 et 2001. Evaluation agronomique et formation-encadrement des producteurs, ISRA-CERAAS, Thiès, 29p.
- Diouf M., 2004.** - Programme de formation et de recherche-développement pour la relance de la filière sésame (*Sesamum indicum* L.) au Sénégal, ISRA-CERAAS, Thiès, 21p. + ann.
- Diouf M., Fofana A., Ndiaye M., Guèye M., 2004.**- Fiche technique du sésame, ISRA-CERAAS, Thiès, 3p.
- Diouf M., Sall M.N., Sall P.M., Braconnier S., 2005a.**- Assessment of water deficit resistance during germination and early growth of seven sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. En préparation pour *Physiology and Molecular Biology of Plants*.
- Diouf M., Sarr B., Guèye M., Roy-Macauley H., 2005b.** - Water needs growth and yield of seven sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in semi-arid Senegal. En préparation pour *Physiology and Molecular Biology of Plants*.
- Djigma A., 1984.**- Conditionnement génétique de caractères liés au rendement chez le sésame (*Sesamum indicum* L.). *Oleagineux*, 39 (4) : 217-222.
- Dodd J.C., 1994.** - Approaches to the study of the extraradical mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi. In: *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystem*, Gianinazzi S. et Schüepp H. (éds). Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland, pp.147-166.
- DSDIA/DAPS/MAE** (Division de la Statistique, de la Documentation et de l'Information Agricole/ Division de l'Analyse et de la Prévision des Statistiques/ Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage), **2003.**- Résultats définitifs de la campagne agricole 2002/03, DSDIA/DAPS, Dakar, 4p.

- DSDIA/DAPS/MAH** (Division de la Statistique, de la Documentation et de l'Information Agricole/ Division de l'Analyse et de la Prévision des Statistiques/ Ministère de l'Agriculture et de l'hydraulique), **2003.-** Résultats définitifs de la campagne agricole 2002/03, DSDIA/DAPS, Dakar, 4p.
- Duponnois R., Colombet A., Hien V., Thioulouse J., 2004.** - The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil Biology and Biochemistry*, Elsevier 37: 1460-1468
- Edathil T.T., S. Manian, Udaiyan K., 1996.-** Interaction of multiple VAM fungal species on root colonisation, plant growth and nutrient status of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 59: 63-68.
- FAO, 2004.-** statistiques principales du commerce extérieur agro-alimentaire.
www.fao.org/es/ess/toptrade/trade.asp
- Fofana A., 2003.-** Evaluation variétale chez le sésame, Rapport annuel de projet, ISRA-CRZ, Kolda, 10p.
- Fofana A., 2004.-** Evaluation variétale chez le sésame, Rapport annuel de projet, ISRA-CRZ, Kolda, 13p.
- Frost M., 2001.** - Significance of mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* for the mobilisation of non exchangeable ammonium. Institute for plant nutrition, faculty of agriculture, university of Bonn, 119p.
- Ganry F., Diem H. G., Dommergues Y.R., 1982.** - Effect of inoculation with *Glomus mosseae* on nitrogen fixation by field grown soybeans. *Plant and soil*, 68: 321-329.
- George E., Häussler K.-U., Vetterlein D., Gorgus E., Marschner H., 1992.** – Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseae*. *Can. J. Bot.*, 70: 2130 - 2137.
- Gerdemann J.W., 1975.** - Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: *The development and function of roots*, Torrey, J.C et D.T. Clarkson, (éds), *Academic Press*, New York, pp.575-579.
- Ghazi N. Al-Karaki, 1998.** - Benefit, cost and water-use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. *Mycorrhiza*, 8 (1): 41- 45.
- Ghehl J. M., Mousain D., Falconnet G., Gruez J., 1990.** – Growth, carbon dioxide assimilation capacity and water-use efficiency of *Pinus pinea* L. seedlings inoculated with different ectomycorrhizal fungi. *Annales des sciences forestières*, 47 (2): 91-100.
- Ginninazzi-Pearson V., 1996.** - Plant cell responses to arbuscular mycorrhizal fungi: getting to the roots of the symbiosis. *The Plant Cell*, 8: 187 1- 1883.
- Giovannetti M., Mosse B., 1980.** - An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489-500.
- Göhl B., 1982.-** Les aliments du bétail sous les tropiques : Données sommaires et valeurs nutritives. *FAO, Collection : Production et santé animale* **12**, Rome, 543p.
- Gotoéchan H. M., 1999.-** Effets de deux inoculants endomycorhiziens commerciaux sur le rendement et la qualité de la carotte (*Daucus carota* L.) en champ et sur le développement de deux maladies en entrepôt. Thèse (M.Sc.), Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec, Canada, 85 p.
- Graham J. H., Eissenstat D. M., 1994.-** Host genotype and the formation and function of VA mycorrhizae. *Plant and Soil* 159: 179-185.

- Guèye M., 2000.** - Evaluation des besoins en eau, de la croissance et de la productivité de sept variétés de sésame (*Sesamum indicum* L.) en zone semi-aride du Sénégal. Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Thiès, 73p.
- Guèye M., 2002.**- Réponses morpho-physiologiques au déficit hydrique du sésame (*sesamum indicum* L.) au jeune âge en rhizotron. Isra-ceraas, thiès, 56p + 2 ann.
- Guisso T., Bâ A. M., Plenchette C., Guinko S., Duponnois R., 2001.** – Effets des mycorhizes à arbuscules sur la tolérance à un stress hydrique de quatre arbres fruitiers: *balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Parkia biglobosa* (jacq.) Benth., *Tamarindus indica* L. et *Zizyphus mauritiana* Lam. *Sécheresse*, 12 (2): 121-127.
- Harley J.L., Smith S.E., 1983.** - Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York and London UK.
- Isra, 2003.**- Amélioration de la productivité et valorisation du sésame (*Sesamum indicum* L.) au Sénégal. Rapport technique de projet, Thiès, 23p.
- Janos D.P., 1983.** - Tropical mycorrhizas, nutrient cycling and plant growth. In: *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*, Sutton SL, Whitmore TC, Chadwick AC (eds.), Oxford, Blackwell Scientific Publications, pp. 337-345.
- Johnson, N.C., J.H. Graham, Smith F.A., 1997.** - Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytologist*, 135: 575-585.
- Kafiriti E. M., Deckers j., 2001.**- Sésame: 852-859. In: *Crop production in tropical Africa*, Romain H. Raemaekers, éd, Bruxelles, Belgique, 1634p.
- Khalil S., T.E. Loynachan, Tabatabai M. A., 1994.** - Mycorrhizal dependency and nutrient uptake by improved corn and soybean cultivars. *Agronomy Journal*, 86: 946-958.
- Khan A. G., 1975.** - Growth effects of VA mycorrhiza on crops in the field. in: Sanders, F.E., B. Mosse et P.B. Tinker (éds), *Endomycorrhizas*, Academic Press, New York et London, pp.419-435.
- Koch M., Z. Tanami, H. Bodani, S. Wininger, Kapulnik.Y., 1997.** - Field application of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi improved garlic yield in disinfected soil. *Mycorrhiza*, 7: 47-50.
- Langham D.R., Wiemers T., 2002.** - Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. In: *Trends in new crops and new uses*. J. Janick and A. Whipkey (eds.), ASHS Press, Alexandria, VA. pp. 157–173
- Lebrun J.-P., Stork A.L., 1997.**- Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale, volume IV, gamopétales : *Clethraceae* à *Lamiaceae*. *Editions des conservatoires et jardins botaniques*, Genève, 712p.
- Lerat S., Lapointe L., Gutjahr S., Piché Y., Vierheilig H., 2003.** - Carbon partitioning in a split-root system of arbuscular mycorrhizal plants in fungal and plant species dependent. *New Phytologist*, 157: 589-595.
- Leye M., 2006.**- Réponse du sésame (*Sesamum indicum* L.) à l'inoculation mycorrhizienne arbusculaire. Mémoire de DEA, Université Cheikh anta Diop de Dakar, Sénégal, 78p.
- Matthias C. Rillig; Daniel L. Mummey, 2006.**- Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171: 41-53
- Mazzani B., 1964.**- Aspectos del mejoramiento del ajonjolí en Venezuela. *Oléagineux*, 19 (12): 775-782.

- Meddich A., Oihabi A., Abbas Y., Bizid E., 2000.** - Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules de zones arides dans la résistance du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) au déficit hydrique. *Agronomie*, 20: 283-295.
- Meddich A., Oihabi A., Bizid E., El hadrami I., 2004.**- Rôle des champignons mycorhiziens VA dans la tolérance du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) au déficit hydrique. *Revue des régions arides*, 2: 640-646.
- Medina O. A., Kretschmer Jr. A. E., Sylvia D. M., 1990.** - Growth response of field-grown Siratro (*Macropodium atropurpureum* Urb.) and *Aeschynomene americana* L. to inoculation with selected vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Biology and fertility of soil*, 9 (1): 54-60
- Mémento de l'Agronome, 2002.**- Mémento de l'Agronome. Ministère des affaires étrangères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Groupe de recherche et d'échange technologique (Gret), Paris, 1690p.
- Menge J. A., E.L.V. Johnson, Platt R.G., 1978.**- Mycorrhizal dependency of several citrus cultivar under three nutrient regimes. *New Phytologist*, 81: 553-559.
- Michelsen A., Rosendahl S., 1990.** - The effect of VA mycorrhizal fungi, phosphorus and drought stress on the growth of *Acacia nilotica* and *Leucaena leucocephala* seedlings. *Plant and soil*, 124: 7-13.
- Mikola P., 1987.** - Mycorrhizae under tropical stresses. *Angew. Botanik*, 61:15-23.
- Mosse B., 1973.** - Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Ann. Revue of Phytopathology*, 11: 171-196.
- Mouton G., 1995.**- Le point sur la culture du sésame en Casamance : Rapport de campagne, 47p. + ann.
- Mulkey J. R., Drawe H.J., Elledge R.E.J., 1987.** - Planting date effects on plant growth and development in sesame. *Agron.J.* 79: 701-703.
- Musick G. J., Fairchi M. L., Ferguson V. L., Zuber M. S., 1965.** - A method of measuring root volume in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, 5: 601-602
- Narayanan A., Balakrishna Reddy K., 1982.**- Growth, development and yield of sesame cultivars. *Field Crops Research*, 5 (3): 217-224.
- Ndiaye M., 2004.**- Effets de la fertilisation minérale sur la croissance, le développement et la productivité du sésame (*Sesamum indicum* L.) cultivé au Sénégal. Rapport annuel de projet, Isra-CNRA, Bambey, 9p.
- Newsham K. K., Fitter A.H., Watkinson A. R., 1995.** - Arbuscular mycorrhiza protects an annual grass from root pathogenic fungi in the field. *J. Ecol.* 83:991-1000.
- Niang M., 2004.**- Effet de la date de semis sur le développement, la croissance et la productivité du sésame (*Sesamum indicum* L.) en zone semi-aride du Sénégal. Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Thiès, 60p. + ann.
- Niemira B. A., G. R. Safir, R. Hammerschmidt, Bird G.W., 1995.** - Production of pre-nuclear minitubers of potato with pest-based arbuscular mycorrhizal fungal inoculum. *Agronomy Journal*, 57: 942-964.
- Niemira B.A., 1997.** - Fungal diseases of potato (*Solanum tuberosum*) following arbuscular mycorrhizal inoculation: field and postharvest pathology. Congrès Mycorhize 1997, Université McGill. Québec, Canada (résumé).

- Niemira B.A., Hnmerschmidt R., Safir G. R., 1996.** - Postharvest suppression of potato dry rot (*Fusarium sambucinum*) in pre-nuclear minitubers by arbuscular mycorrhizal fungal inoculum. *American Potato Journal* 73: 509-515.
- Nouaïm R., 1994.** - Ecologie microbienne des sols d'arganeraies ; *Activités microbiologiques et rôle des endomycorhizes dans la croissance et la nutrition de l'arganier* (*Argania spinosa* (L.) Skeels). Thèse d'Etat, Université Ibnou Zohr, Agadir, Maroc.
- Nouaïm R., Chaussod R., 1996.** - Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides. In: *La mycorrhization des plantes forestières en milieu aride et semi-aride et la lutte contre la désertification dans le bassin méditerranéen*. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, pp. 9-26.
- Nouaïm R., Linères M., Esvan J.M., Chaussod R., 1994.** - Mycorrhizal dependency of micropropagated argan tree (*Argania spinosa*): Mineral nutrition. *Agroforestry Systems*, 27:67-77.
- OMM, 1991.** - Agrométéorologie opérationnelle : Recueil de notices phénologiques. OMM, Genève, 258p. + ann.
- OUA, 1985.** - Pharmacopée africaine, CSTR/OUA, publication scientifique première éd., 1 (2), Lagos, 274p.
- Pelletier S., 2003.** - Effet du stress hydrique sur le comportement agro-morphologique et physiologique du sésame (*Sesamum indicum* L.) de type variété cultivé en champ. Rapport de stage de pré-option, Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux Agricoles/Centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse, Bordeaux, 47p.
- Perrin R., 1991.** - Mycorhizes et protection phytosanitaire. Dans: *Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées*. Strullu D.G. (éd.), Technique et documentation Lavoisier, Paris, pp. 93-130.
- Pirosynski K. A. & Malloch D. W., 1975.** - The origin of land plants: a matter of mycotrophy. *Biosystems*, 6: 153-164.
- Plenchette C., V. Furlan, Fortin. J. A., 1982.** - Effects of different endomycorrhizal fungi on five host plants grown on calcined montmorillonite clay. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107: 535-538.
- Plenchette C., Fortin J.A., Furlan V., 1983.** - Growth response of several plant species to mycorrhiza in a soil of moderate phosphore fertility. *Plant and soil*, 70:191-209
- Plenchette C., 1991.** - Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture. Dans : *Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées*, Strullu D.G. (éd.), technique et documentation Lavoisier, Paris. pp. 131 - 196
- Plenchette C., 2005.** - Mycorhizes et nutrition phosphatée des plantes. Journées techniques fruits & légumes et viticulture biologiques, Beaune, les 6 et 7 décembre 2005, pp.103-109.
- Prakash A., Tandon V., Sharma N. C., 2004.** - Effect of rock phosphate and VAM inoculation on growth and nutrient uptake in *Sesamum indicum* L. *Physiol. Mol. Biol. Plants*, 10 (1): 137-141.
- Praveen Rao V., Raikhelkar S.V., 1994.** - Evapo-transpiration of sesame (*Sesamum indicum* L.) in relation to pan evaporation. *Indian J. Agric. Sci.*, 64 (11): 771-774.
- Purseglove J. W., 1984.** - Tropical crops: dicotyledons. *Longman group ltd*, Singapour, 719p.

- Ramirez R., Ovalles C.A., 1991.-** Rapport entre la pH du sol et la croissance, la nutrition et la production de graines du sésame (*Sesamum indicum* L.). *Oléagineux*, 46 (10): 375-383.
- Sadiq Gorsi M., 2002. -** Studies on mycorrhizal association in some medicinal plants of Azad Jammu and Kashmir, *Asian journal of plant Sciences*, 1 (4): 383-387.
- Schilling R., Cattan Ph., 1991.-** La culture du sésame en Afrique tropicale. *Oléagineux*, 46 (3): 125-133.
- Schüssler A., Schwarzott D., Walker C., (2001). -** A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105: 1413-1421.
- Seck M., 1999. -** Le sésame s'ouvre aux femmes. *SYFYA* 126: 34-36.
- Sequeira J.O., O.J. Snggin-Junior, Flores-Aylas W.W., Guimaraes P.T.G., 1998. -** Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza*, 7: 293-300.
- Sieverding E., 1981. -** Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza. Effect on plant growth, water utilisation and developpement of mycorrhiza. *Acker. Pflanzenbau*, 150:400-411.
- Simon L., J. Bousquet, R.C. Lévesque, M. Lalonde, 1993. -** Origin and diversification of endornycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* 363: 67-69.
- Smith S.E., Smith F. A., 1990. -** Transley review n° 20: Structure and function of the interfaces in biotrophic symbioses as they relate to nutrient transport. *New Phytologist*, *Soc. Am. J.* 53: 1701-1706.
- Solaiman M.D.Z., Saito M., 1997. -** Use of sugars by intraradical hyphae of arbuscular split-root system of arbuscular mycorrhizal plants in fungal and plant species dependent. *New Phytologist*, 157: 589-595.
- St-Arnaud M., Mamel C., Caron M., Fortin J.A., 1995. -** Endomycorhizes VA et sensibilité des plantes aux maladies racinaires : synthèse de la littérature et mécanismes d'interaction potentiels. Dans : Fortin J.A., C. Charest et Y. Piché (éds), *La Symbiose Mycorrhizienne. État des connaissances*, Éditions *Orbis Publishing*, Québec, Canada, pp.52 -69.
- Subramanian K. S., Charest C., Dwyer L. M., Hamilton R. I., 1995. –** Arbuscular mycorrhizas and water relations in maize under drought stress at tasselling. *New Phytol*, 129: 643-650.
- Subramanian K.S., Charest C., 1995. -** Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. *Mycorrhiza*, 5 (4): 273-278.
- Subramanian K.S., Charest C., 1997. -** Nutritional growth, and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasseling. *Mycorrhiza*, 7 (1): 25-32.
- Subramanian K.S., Charest C., 1999. -** Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. *Mycorrhiza*, 9 (2): 69-75.
- Suddiyam P., Steer B.T., Turner D.W., 1992. -** The flowering of sesame (*Sesamum indicum* L.) in response to temperature and photoperiod. *Aust. J. Agric. Res.*, 43 (1):1101-1116.
- Sylvia D. M., 1 986. -** Spatial and temporal distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Uniola paniculata* in Florida foredunes. *Mycologia*, 78:728-734.
- Tinker P.B., 1984. -** The role of mocrorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant soil*, 76:77-91.

- Togola A., 2004.** - Mise au point de variétés de sésame (*Sesamum indicum* L.) à haut potentiel de rendement et à haute teneur en huile, Document de projet, IPR/IFRA, Koulikoro, 21p.
- Valarmathi G., Surendran C., Vanniarajan C., Kumar M., Saravanan N. A., 2003.** - Morphological and biochemical characterization of sesame (*sesamum indicum* l. and *s. mulayanum* l.). *Sesame and safflower*, newsletter18: 42-46.
- Wang B., Qiu Y.-L., 2006.** - Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16 (5): 299-363.
- Waterer D. R., Coltman R. R., 1989.** - Response of mycorrhizal bell peppers to inoculation timing, phosphorus and water stress. *KortScience*, 24: 688-690.
- Weickel B., 1997.** – Studies on the isolation, identification and biological characterisation of arbuscular mycorrhizal fungi. Institute for plant diseases, Faculty of agriculture, University of Bonn, 116p.
- Weiss E.A., 1971.** - Castor, sesame and safflower. *Leonard Hill books ed*, London, 901p.
- Weiss E. A., 2000.** - Oilseed crops, second edition, *Blackwell Science LTD*, United Kingdom, 355p.
- Westphal E., Fewerda J.D., 1985.** - Les oléagineux. 190-259. In : *Cultures vivrières tropicales avec référence spéciale au Cameroun*, westphal et al. Eds, Pudoc, Wageningen, 514p.
- Yahya A., 1998.** - Responses to salinity of sesame (*Sesamum indicum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Agraria* **122**, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, Swedish University