IMPACT DE LA MYCORHIZATION ARBUSCULAIRE DANS LA CULTURE INTENSIVE DE LA TOMATE AU SENEGAL (*Lycopersicum esculentum* L.)

Titre du mémoire : Impact de la mycorhization arbusculaire dans la culture intensive de la tomate au Sénégal (*Lycopersicum esculentum* L.).

Nom du candidat : Demba DIAW
Nature du mémoire : Diplôme d'Etudes Approfondies de Biologie Végétale
Date de naissance : 23 Décembre 1975
Date d'obtention de l'AEA : 2004

Jury : Président : Dr. Kandioura NOBA — Maître de conférence, UCAD
Membres : Dr. Tahir Abdoulaye DIOP — Maître de conférence, UCAD
Dr. Maymouna SY NDIR — Maître assistante, UCAD
Dr. Alioune DIALLO — Chercheur, ANCAR
Dr. Hamet Aly SOW — Chercheur, ISRA

Résumé

L'agriculture joue un rôle important dans l'économie sénégalaise. La tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) est l'une des principales cultures industrielles pratiquées. Cette culture est toutefois très sensible aux attaques parasitaires, ce qui justifie l'utilisation intensive de pesticides. L'utilisation abusive des pesticides entraîne un déséquilibre environnemental et affecte négativement la santé des populations. L'intégration des champignons mycorhiziens arbusculaires dans les itinéraires agricoles est actuellement préconisée pour une durabilité des cultures mais aussi pour une préservation de la biodiversité.

C'est dans ce contexte que des études ont été menées afin de voir l'impact des interactions champignons mycorhiziens arbusculaires - pesticides sur la mycorhization et la productivité de la tomate.

Le potentiel mycorhizogène du sol de Sangalkam a révélé un MPN (Most Probable Number) faible (170 propagules / 50 g de sol), caractéristique des sols sahéliens.

Les résultats ont montré que l'agressivité du champignon mycorhizien arbusculaire révélée en pépinière est conservée pendant toute la durée de la culture de la tomate. Par ailleurs, l'interaction champignon, fertilisation et produit phytosanitaire a aussi un impact plus significatif en pépinière sur les biomasses aériennes et racinaires de la tomate.

Concernant le rendement en fruits, *Glomus aggregatum* a induit des augmentations de plus de 16 $T.Ha^{-1}$ comparativement aux plants uniquement fertilisés en engrais et en pesticides.

Mots-clés : Engrais, *Lycopersicum esculentum*, Mycorhization, Pesticides, Rendement.

Dédicaces

Je rends grâce au Tout Puissant Allah. Que Sa paix et Sa bénédiction soient sur le noble prophète Mouhammad, sa famille ainsi que les fidèles qui le suivront jusqu'au jour dernier.

Je dédie ce travail

- *A ma mère Thiouna DIOP, mon père Cheikh DIAW, en reconnaissance d'affectueuse estime et leur tendresse en vers moi. Trouvez ici tout ce dont je puisse faire ou formuler pour atteindre votre bonheur ici bas et dans l'Au-delà ;*

- *A tous mes frères et sœurs sans exception aucune.*

- *A la mémoire de ma petite sœur Yaye Bineta DIAW*

Ce travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Biotechnologies des Champignons (LBC) du Département de Biologie Végétale de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar et dans une exploitation localisée au niveau de la communauté rurale de Sangalkam.

J'adresse mes sincères remerciements à tout le personnel avec lequel j'ai eu à collaborer pour la réalisation de ce travail.

Je remercie le Dr. Tahir dit Abdoulaye DIOP, Responsable du L.B.C. d'avoir mis à ma disposition ce sujet de recherche, assisté à mes travaux, être toujours prêt à me faciliter l'exécution de mon travail. Je vous suis reconnaissant pour vos conseils, votre patience, votre disponibilité, votre souci du travail bien fait et votre compréhension à mon égard. Merci autant de fois que vous le méritez ;

Le Dr. Kandioura NOBA, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury ;

Le Dr. Hamet Aly SOW pour toute sa collaboration fructueuse et d'avoir accepté de faire partie du jury,

Le Dr. Alioune DIALLO et Le Dr. Maymouna Sy NDIR qui ont accepté d'examiner ce travail

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les enseignants, chercheurs, personnel technique et étudiants du département de Biologie végétale ; et plus particulièrement l'équipe du Laboratoire de Biotechnologies des champignons

(Dr. Fatima NDIAYE, El Hadji Malick LEYE, Malick NDIAYE, Dr. Anicet MANGA) pour leur disponibilité.

Je remercie mes frères et sœurs en la foi, pour toute l'attention, l'estime, le soutien sans faille que vous avez faits à mon égard, pour l'amour fraternel et la confiance que vous me manifestez. Je remercie tous les membres de l'AEMUD qui n'ont ménagé aucun effort pour ma réussite dans cette vie ici bas et dans l'Au-delà : Younoussa Diallo et son épouse Fatima DIA, Yaya Younousse COLY, Mous'ab GUEYE, Ismaïla NDIAYE, Aliou Seck… et autres que je n'ai pas cités.

Je remercie également du fond du cœur mes frères et sœurs (Mohamed DIAW, Fatou DIAW, Astou DIAW, Serigne DIAW, Pape DIAW, Manoumbé DIOP et Issa DIAW), et Oncle Manoumbé DIOP.

J’adresse également mes sincères remerciements à Aïda Seck et toute sa famille à Thiès, N’Deye Arame DIAGNE et toutes les personnes qui m’ont aidé dans la réalisation de ce travail.

Liste des abréviations

%	pourcent
°C	degré Celsius
Ca	Calcium
cm	centimètre
F	Fertilisation
F.A.O.	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'agriculture
g	gramme
g/m²	gramme par mètre carré
Ga	*Glomus aggregatum*
Ga_R	*Glomus aggregatum* au repiquage
INRA	Istitut national de Recherche Agricole
ISRA	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
J	jour de semis
kg	kilogramme
l	litre
m	mètre
ml	millilitre
mm	millimètre
MPN	Most Probable Number
Na	sodium
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ppm	parties pour mille
pH	potentiel Hydrogène
PIB	Produit Intérieur Brut
SOCAS	Société de Conserves Alimentaires du Sénégal
T	Témoin

Liste des figures

Pages

Figure 1 : Rôle des champignons dans la structure en agrégats.....5

Figure 2 : Rameau de tomate.....9

Figure 3 : Aspects morphologiques de la plante de tomate :
(1) attaché à un tuteur ; (2) différentes formes de fruits.....10

Figure 4 : Schéma des planches de pépinière.....19

Figure 5 : Confection des planches de semis 19

Figure 6 : Désherbage du terrain.....21

Figure 7 : Repiquage des plants de tomates au niveau des blocs.....21

Figure 8: Détermination du potentiel mycorhizogène du sol de Gorom.....23

Liste des tableaux

Pages

Tableau 1 : Températures moyennes pour la culture de la tomate..... 11

Tableau 2: Auxiliaires utilisés contre les principaux ravageurs des cultures protégées..... 12

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du sable de plage..... 17

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques du sol de Gorom..... 18

Tableau 5 : Calendrier, doses et mode d'application des produits phytosanitaires 20

Tableau 6 : Calendrier, doses et mode d'application des produits phytosanitaires 21

Tableau 7: Valeurs de la biomasse sèche des parties aériennes..... 24

Tableau 8 : Valeurs de la biomasse sèche des parties racinaires 26

Tableau 9 : Quantité de fruits obtenue après 3 récoltes 27

Pages

INTRODUCTION **1**

SYHNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE **3**

1. Notion de mycorhizes 3

1.1. Généralités et définition des mycorhizes 3

1.2. Importance agronomique des mycorhizes 3

1.2.1. Nutrition minérale 3

- Absorption du phosphore 3

- Absorption de l'azote 4

- Absorption d'oligoéléments 4

1.2.2. Nutrition hydrique 4

1.2.3. Protection phytosanitaire 4

1.2.4. Conservation de la structure du sol 5

2. Notion de pesticides 6

2.1. Définition 6

2.2. Classification des pesticides 6

2.2.1. Insecticides 6

2.2.2- Fongicides 6

2.2.3. Acaricides 7

2.3. Les modes d'utilisation des pesticides 7

2.4. Fréquence d'utilisation des pesticides 7

2.5. Pesticides et mycorhization 7

2.6. Inconvénients des pesticides 8

2.7. Homologation et réglementation des pesticides 8

3. La spéculation testée (tomate) 8

3.1. Généralités 8

3.2. Systématique 9

3.3. Botanique 9

3.4. Culture de la tomate au Sénégal 10

3.5. Conditions de culture de la tomate 10

3.6. Les principaux ennemis des cultures de la tomate au Sénégal 11

- Les insectes 11

- Les champignons 11

- Les nématodes 11

- Les maladies à virus 12
- Les maladies non parasitaires 12
3.7. Les méthodes de lutte contre les ennemis des cultures 12
3.7.1. La lutte chimique 12
3.7.2. La lutte biologique 12
3.7.3. Lutte intégrée 13
MATERIEL ET METHODES 14
1. Sites expérimentaux 14
2. Potentiel mycorhizogene du sol (MPN) 14
2.1. Préparation des terres 14
2.2. Conditions de la culture 15
2.3. Récolte et Coloration 15
2.4. Observations 15
2.5. Estimation du nombre le plus probable de propagules 15
3. Matériel végétal 16
3.1. La tomate 16
3.2. Le maïs 16
3.2. Le mil 16
4. Matériel fongique 16
4.1. Origine 16
4.2. Production de l'inoculum 16
5. Produits phytosanitaires 17
6. Fertilisants 18
7. Substrats de culture 18
8. Dispositifs expérimentaux 18
8.1. Champ 18
8.1.1. Préparation des planches de semis pour la pépinière 18
8.1.2. Repiquage 20
8.2. Serre 22
9. Paramètres mesures 22

RESULTATS 23
1. Potentiel mycorhizogène (MPN) du sol de Sangalkam 23
2 Rendements 23

2.1. La biomasse sèche des parties aériennes.....23
2.2. la biomasse sèche des parties racinaires 25
.....
2.3. Production.....26
IV. DISCUSSION.....28
Effectivité des propagules endogènes 28
Développement végétatif 28
Production.....30
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....33
ANNEXES

Introduction

Au Sénégal, l'agriculture occupe 70% de la population. Elle est un secteur clé pour le développement socio-économique parce qu'elle contribue à la formation du PIB à hauteur de 20% et qu'elle est aussi un moyen de lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté (FAO/OMS, 2004). Principalement, deux types d'agriculture sont pratiqués, il s'agit de :

- L'agriculture sous pluie :

Elle est la plus répandue, et est pratiquée dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal. Elle concerne plus de 90% des terres (DEL/Berger et al, 1996). Les principales spéculations concernées par ce type d'agriculture sont l'Arachide (*Arachis hypogaea*), le Mil (*Pennisetum glaucum*), le Coton (*Gossypium barbabense* L.), le Maïs (*Zea mays*), le Niébé (*Vigna unguiculata*) (Anonyme, 2000).

- L'agriculture irriguée :

Ce type d'agriculture est maintenant pratiqué dans toutes les zones agroécologiques du pays dans des proportions cependant faibles par rapport à la culture sous pluie (DEL/Berger et al, 1996). Les principales spéculations sont la tomate (*Lycopersicum esculentum*), la canne à sucre (*Saccharum*), le riz (*Oryza sativa*), l'oignon (*Allium cepa*).

L'agriculture irriguée, encore appelée agriculture intensive est pratiquée principalement dans les zones des Niayes et du Fleuve. De nos jours, elle est une activité économique qui nécessite des investissements et des coûts de production plus élevés que lorsqu'il s'agit de l'agriculture sous pluie. Ainsi, l'obtention de rendements élevés devient la seule préoccupation des producteurs maraîchers dont certains en ce qui concerne la zone des Niayes sont des « locataires » des parcelles mises en culture. Ces derniers, peu soucieux de la préservation du capital foncier, encore moins de l'équilibre environnemental pratiquent un itinéraire technique de production maraîchère basée sur une utilisation élevée des ressources externes telles que les intrants de synthèse.

Parmi ces intrants, les pesticides occupent une place prépondérante et représentent dans certains cas plus de la moitié des coûts de production. La fréquence des traitements phytosanitaires peut atteindre un nombre de trois par semaine, qu'il s'agisse de traitements préventifs ou curatifs, ceci en vue d'éradiquer les ravageurs des cultures et d'accéder à des rendements satisfaisants dans un contexte propice au développement des parasites (Cissé *et al*., 2000). Plusieurs produits phytosanitaires sont utilisés parmi lesquels : des insecticides (exemple : Diméthoate), des fongicides (exemple : Soufre, Manèbe), des acaricides (exemple : Péropal).

Cependant, le recours aux pesticides comme facteur d'amélioration et de protection des rendements agricoles présente un impact négatif sur l'homme et les écosystèmes. En ce qui concerne l'homme, plusieurs pathologies lui sont directement

associées aussi bien dans le court que dans le long terme, avec notamment des cancers, des stérilités, des malformations congénitales, des déficiences mentales, des troubles neurologiques et de reproduction (Gibons et al, 1987 ; National Academy of Science, 1987 ; David et al, 1980 ; Anonyme, 1985), etc. Concernant les ressources naturelles, ce recours entraîne leur dégradation (sol, air) (PAN-CTA, 1990 ; Ngom, 1992), une contamination de la nappe phréatique (cissé et al., 2000) et par voie de conséquence un déséquilibre environnemental. A tous ces effets négatifs sur l'homme et l'environnement, viennent s'ajouter les phénomènes de résistance de plus en plus accrue des agents pathogènes aux différents produits phytosanitaires.

Compte tenu de tous ces facteurs, il convient de proposer un itinéraire de production maraîchère basée sur une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires.

Il existe dans la nature, une association entre les racines des végétaux supérieurs et des microorganismes appelée mycorhization (Gerdemenn, 1968). Cette forme d'association est plus connue sous le nom de symbiose mycorhizienne arbusculaire (Domergues et Mangenot, 1970).

Cette symbiose tend à réduire l'incidence des maladies racinaires et minimise l'effet nocif de certains agents pathogènes (Dehne, 1982; St-Arnaud et al., 1995). De nombreuses études montrent que les Endomycorhizes permettent une réduction de la gravité des pourritures racinaires produites par Phytophtora spp. Elles sont évoquées dans différentes revues scientifiques (Schonbeck 1979, Dehne 1982, Garcia Garrido et Ocampo 1987.). Par ailleurs, Garcia garrido et Ocampo (1988) ont noté une compensation des pertes de poids consécutives aux attaques de *Pseudomonas syringae* chez la tomate mycorhizée par *Glomus mosseae*.

Ces résultats prometteurs permettent d'envisager avec l'utilisation des les MVA dans la production maraîchère, des systèmes culturaux plus sains, avec la réduction de l'usage de pesticides, tout en assurant la rentabilité des cultures et la qualité de l'environnement.

L'objectif de cette présente étude est de déterminer la capacité des MVA, en l'occurrence *Glomus aggregatum* à se substituer aux traitements phytosanitaires. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps testé le champignon dans un itinéraire de production au champ, avec comme plante hôte la tomate (*Lycopersicum esculentum*) recevant ou non des traitements phytosanitaires préventifs. Dans un second temps, l'effet de certains pesticides sur la viabilité du champignon est testé en serre.

Synthèse bibliographique

1. NOTION DE MYCORHIZES

1.1. Généralités et définition des mycorhizes

Les mycorhizes (du grec : *mukës* = champignon, *rhiza* = racine) sont des associations entre les racines des végétaux et les mycéliums des champignons du sol (Strullu, 1991). Les mycorhizes sont très répandues dans la nature et intéressent la quasi-totalité des végétaux (95%) (Strullu, 1991). Ces associations sont plus connues sous le nom de symbiose mycorhizienne arbusculaire (Dommergus et Mangenot, 1970). Elle est générale (*Gerdemann*, 1968) et se rencontre dans tous les écosystèmes du monde (*Smith et Gianinazzi-Pearson*, 1988). Il existe plusieurs types de mycorhizes et d'après la proposition de (*Peyronnel et al*., 1969), elles se répartissent en trois groupes principaux (ectomycorhizes, endomycorhizes, et les ectendomycorhizes).

1.2. Importance agronomique des mycorhizes

Les effets bénéfiques des mycorhizes sur l'agriculture sont largement démontrés et principalement à travers une amélioration de la nutrition phosphatée, de l'absorption du potassium, de l'azote et des oligoéléments tels que le cuivre le zinc et le soufre (*Olivier et al.,* 1983 ; *Cooper et Tinker,* 1978 ; *Strullu et al.,* 1981 ; *francis al.,* 1986 ; *Declerck et al.,* 1994). Ces effets bénéfiques sont rendus possibles par une augmentation du volume de sol exploré et la densité du réseau mycélien (Gianniazzi-Pearson et Diém, 1982). Des travaux ont mis en évidence le rôle bénéfique des associations mycorhiziennes dans la nutrition hydrominérale et la protection des plantes contre certains agents pathogènes (Azcón-Aguilar et Barea, 1992 ; Linderman, 1992).

1.2.1. Nutrition minérale

Le phosphore, l'azote, le potassium et les oligoéléments font l'objet d'une meilleure assimilation dans les complexes mycorhiziens selon plusieurs auteurs (Cooper et Tinker, 1978 ; Strullu et al, 1981 ; Francis et al, 1986 ; Declerck et al, 1994) et leur absorption augmente chez les plantes mycorhizées

- **Absorption du phosphore**

Le phosphore participe à plusieurs réactions physiologiques au sein de la plante comme la floraison, la fructification, le transfert de l'énergie et la fonction chlorophyllienne (camiré, 1987).

Selon (Harley et Smith, 1983), une carence en phosphore est observée dans de nombreux sols tropicaux et entraîne une limitation de la croissance. Chez les plantes formant des endomycorhizes à vésicules et arbuscules, la stimulation de la croissance est en partie due à l'intervention des mécanismes actifs de transport du phosphore du champignon vers la plante (Strullu, 1991). Des études réalisées chez l'oignon ont montré une apparition d'activités phosphatasiques qui seraient d'origine fongique (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1976, 1978). L'amélioration de

la nutrition minérale des plantes mycorhizées est nettement matérialisée par une augmentation de la quantité de phosphore absorbée au delà de la zone d'épuisement des racines de la plante hôte (*Plenchette et al.,* 1983a). Par ailleurs, le manteau fongique est capable de jouer un rôle très important dans l'accumulation et l'absorption du phosphate du fait qu'il peut prélever rapidement le phosphate à partir des solutions peu concentrées en phosphate de potassium (*Harley et Mc Cready,* 1952 ; *Harley,* 1978. *Strullu et al* 1986).

- Absorption de l'azote

Il a été montré le transport de l'azote entre deux plantes via les hyphes mycéliens (Lambert et al., 1993). L'azote libérée au niveau des racines mortes peut être exporté par les hyphes et transporté jusqu'aux racines des autres plantes (Hamel et al., 1991a, b). Les champignons MA peuvent absorber l'azote sous forme NH_4^+ et le transporter à la pante hôte (Ames et al., 1993 ; Johansen et al., 1993). L'apport des mycorhizes dans la nutrition azotée des légumineuses a été identifié comme résultant d'un accroissement de la nutrition phosphatée (*Mosse,* 1977).

- Absorption d'oligoéléments

Beaucoup d'auteurs ont observé une amélioration par la mycorhization de l'absorption du cuivre (Lambert et al., 1979 ; Gildon et Tinker, 1983 ; Tinker, 1984 ; Le tacon et al., 1984 ; Marschnell et Dell, 1994), du zinc (Bowen, 1973 ; Lambert et al., 1979 ; Tinker, 1984).

1.2.2. Nutrition hydrique

Les champignons endomycorhiziens sont présents aussi bien dans les milieux humides que dans les déserts arides. Les études physiologiques et cellulaires ont montré que les structures mycéliennes sont bien adaptées aux mouvements de l'eau entre les champignons et les plantes (*Dud-Dridge et al.,* 1980). Par ailleurs, la mycorhization permet une plus grande dispersion de l'eau en cas de déficit hydrique (Parke et al., 1983 ; Safir et Nelson, 1985).

Elle aide ainsi la plante hôte à supporter les poids de stress (Sylvia et William, 1992 ; Neumann et George, 2004). Tous ces effets permettent une amélioration vigoureuse des plantes c'est à dire une plus forte capacité à résister aux différents stress tels que les maladies, les carences,...

1.2.3. Protection phytosanitaire

Des études ont montré des effets soit néfastes (*Schoenbeck,* 1980), soit bénéfiques (*Feldemann et al,* 1990) de la mycorhization sur les maladies de la partie aérienne des plantes. Les endomycorhizes permettent aussi une réduction de la gravité des pourritures racinaires produites par *Phytophtora spp*. (Schonbeck 1979 ; Dehne, 19821 ; Garcia Garrido et Ocampo, 1987) et une atténuation des effets produits sur la plante par des nématodes phytoparasites du système racinaire (*Sikora*

et Schoenbeck, 1975 ; *Schenk et Kellam,* 1978). La diminution de la perméabilité des racines observée avec la mycorhization entraîne selon *Kane* (1997), une baisse des dommages dus à l'infection bactérienne. Certains auteurs ont noté une compensation des pertes de poids consécutives aux attaques de *Pseudomonas syringue* chez la tomate mycorhizée par *Glomus mosseae* (Garcia Garrido et Ocampo, 1988). La symbiose mycorhizienne, établie par *Glomus mosseae* avec une plante comme le tabac conduit à l'atténuation des effets maladifs produits par *Meloidogine incognita*, espèce également parasite des plantes pérennes (Sikora et Schonbeck, 1975).

1.2.4. Conservation de la structure du sol

L'établissement de la symbiose MA joue un effet très positif sur la texture du sol en augmentant l'agrégation des particules et la stabilité (Sutton et Sheppard, 1976). D'après Miller et Jastrow, 1992a ; Tisdall et sales, 1979, cet établissement permet une consolidation du sol en favorisant l'équilibre des terres par la formation d'agrégats (figure 1).

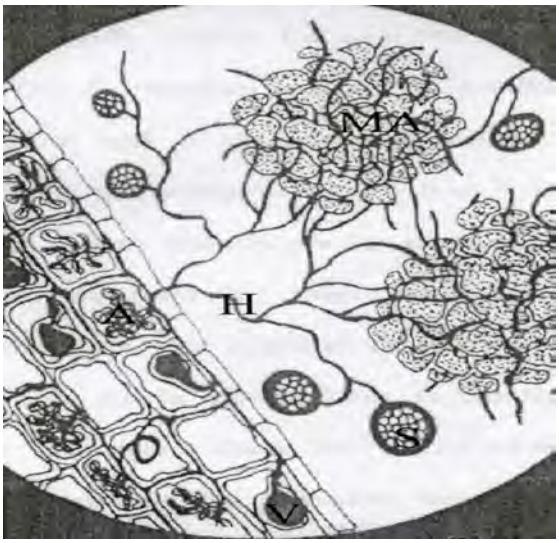


Figure 1 : Rôle des champignons dans la structure en agrégats (Miller et Jastrow, 1992)
MA : micro agrégats ; Ra : racines ; A : arbuscules ; S : spores ; V : vésicules ;
H : hyphes mycéliens

2. NOTION DE PESTICIDES

2.1. Définition

Selon le code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides, un pesticide désigne "toute substance ou association de substances qui est destinée à repousser, détruire, ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales, et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, ou des aliments pour animaux, ou qui peut être administrée aux animaux pour combattre les insectes, les arachnides et les endoparasites ou ectoparasites. Ce terme comprend les substances destinées à être utilisées comme régulateur de croissance des plantes, comme défoliant, comme agent de dessiccation, comme agent d'éclaircissage des fruits ou pour empêcher la chute prématurée des fruits, ainsi que des substances appliquées sur des cultures, soit avant ou après la récolte, pour protéger les produits contre la détérioration durant l'entroposage et le transport". Ce terme exclut normalement les fertilisants, les aliments du bétail et nutriments des plantes (*F.A.O. /W.H.O.*, 1986).

2.2. Classification des pesticides

Du point de vue de la composition chimique, la gamme des pesticides a évolué. Les principales familles chimiques de pesticides sont les suivantes : les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoïdes. Ces familles chimiques sont aujourd'hui bien connues et ont fait l'objet d'importants travaux (Sene Fatou, 1987). Les organochlorés (13%) sont de moins en moins utilisés à cause de leur rémanence et de leurs effets néfastes sur l'environnement. Ils sont de plus en plus remplacés par les organophosphorés (32%). Le reste est constitué par les carbamates (14%), les dérivés (10%), divers (16%) (Cissé et al., 2001).

2.2.1. Insecticides

Ce sont des substances utilisées pour lutter contre les insectes nuisibles aux cultures. Dans ce groupe nous pouvons citer les organophosphorés, les organochlorés et les pyréthrinoïdes. Au Sénégal le plus utilisé est le **diméthoate** qui est un insecticide organophosphoré.

2.2.2- Fongicides

Ce sont les substances capables de s'opposer aux maladies cryptogamiques des végétaux. Ce groupe comporte des composés organiques comme le dithiocarbamate, les dérivés quinoléiques et des composés minéraux tels que les sels de cuivre et d'arsénite. Le principal utilisé dans le cas du Sénégal est le **Manèbe**, souvent

appliqué sur la tomate pour lutter contre le mildiou, l'alternariose ou bien contre la pourriture des fruits.

2.2.3. Acaricides

Les acaricides sont des substances actives ayant la propriété de tuer les acariens (araignées rouges). On a le **Péropal** qui est un acaricide du groupe des organostaniques.

2.3. Les modes d'utilisation des pesticides

Trois modes d'utilisation sont notées dans le système de production horticole en relation souvent avec la taille de l'exploitation (Cissé et al., 2001).

- L'utilisation par aspersion qui est pratiquée par les petits maraîchers cultivant sur de très petites surfaces.

Elle consiste à traiter les attaques parasitaires à l'aide d'un seau contenant la solution de pesticide et de branchages comme aspersoir. Quand il s'agit de poudre, le saupoudrage à la main sans gants ni masque de protection est pratiqué par les agriculteurs. Cette façon de traiter a été observée dans la grande Niaye de Pikine.

- Le traitement avec un pulvérisateur manuel ou motorisé. Ce mode de traitement est le plus répandu dans les Niayes. Il est appliqué aussi bien chez les petits et moyens exploitants.

- Le traitement par ferti-irrigation utilisé en association avec l'irrigation au "goutte à goutte" ou aspersion. Les produits phytosanitaires et les engrais solubles sont directement injectés dans le système d'irrigation. Il est exclusivement utilisé par les grands et quelques moyens exploitants.

2.4. Fréquence d'utilisation des pesticides

Les fréquences d'utilisation des produits phytosanitaires varient d'un producteur à un autre. Au niveau des grands producteurs, le traitement phytosanitaire est plus rationalisé, car, tenant compte des impératifs du marché extérieur. Par contre chez les petits producteurs, la fréquence d'utilisation des produits phytosanitaires est plus conditionnée par la disposition du produit que par la présence des attaques. C'est ainsi qu'il est fréquent d'observer chez eux des traitements souvent préventifs. En période de forte attaque parasitaire, les traitements peuvent se faire jusqu'à trois fois dans la semaine (Cissé et al., 2001). La moyenne est de un traitement par semaine.

2.5. Pesticides et mycorhization

Les pesticides essentiellement utilisés pour la protection phytosanitaire des cultures, peuvent avoir des effets variables selon qu'ils s'agissent de fongicides, d'insecticides ou d'acaricides (Strullu, 1991). Les fongicides ont une action dépressive sur le développement des mycorhizes (Menge, 1982 ; Trappe et al., 1984). Les effets des applications foliaires affectent peu la colonisation des racines lorsque la mycorhization est bien installée contrairement aux effets dus à l'enrobage des

semences ou au traitement du sol, qui peuvent être plus dépressifs (Strullu, 1991). L'effet des fongicides sur la mycorhization est fonction de la dose utilisée et de la date d'application. Certains n'ont pas d'effets négatifs et on en connaît même qui ont des effets positifs (Jabaji-Hare et Kendrick, 1985 ; Morandi, 1989). Les insecticides (Burpee et cole, 1978 ; Iqbal et Khalil, 1981) auraient des effets positifs ou négatifs peu marqués.

2.6. Inconvénients des pesticides

L'utilisation des pesticides suscite de nombreuses inquiétudes liées notamment à leur toxicité et à leur impact négatif sur l'homme et l'environnement. Parmi ceux-ci on peut noter la contamination de la nappe phréatique (*Cisse* 2000), les phénomènes de résistance consécutifs à l'accoutumance des déprédateurs aux produits utilisés (Georghiou, 1986) la dégradation des ressources naturelles (Sol, eau, air), les résidus de pesticides sur les produits et sous produits agricoles (*PAN-CTA,* 1990, *Ngom,* 1992), dont l'une des conséquences la plus insidieuse est le problème sanitaire qu'ils posent. En effet, plusieurs pathologies leur sont directement associées dans le long terme notamment les cancers, les stérilités, les malformations congénitales, les déficiences mentales, des troubles neurologiques et de reproduction (*Gibons et al,* 1987 ; *National Academy of science,* 1987 ; *David et al,* 1980 ; *Anonyme,* 1985), etc. Toutefois, les bonnes pratiques agricoles en matière d'utilisation des pesticides ne sont pratiquement jamais respectées de même que la réutilisation des eaux usées brutes pour l'arrosage des plantes. Ce qui pose la problématique de la teneur en résidus de pesticides et de germes pathogènes (Niang, 1996) dans les denrées alimentaires, sur les ressources naturelles plus particulièrement sur les ressources en eau (Cissé, 2000).

2.7. Homologation et réglementation des pesticides

L'utilisation des produits phytosanitaires est régie dans sa commercialisation et sa distribution par des textes législatifs et règlementaires au niveau national et, par les accords et conventions au niveau sous régional et international *(Cissé et al,* 2001).

3. LA SPECULATION TESTE (TOMATE)

3.1. Généralités

La tomate originaire du Pérou est largement répandue dans le monde. Elle est cultivée dans les zones humides, tempérées et même tropicales. Sa culture s'étend de l'Europe à l'Amérique en passant par l'Afrique. C'est l'une des principales plantes alimentaires dont la culture est la plus répandue au monde (figure 2).

Du point de vue nutritif, la tomate contient :

- 22 calories/100g,
- des minéraux : Ca, P, Fe, Na, K,

- des vitamines : vitamine A, C, Thiamine.

a : tige
b :stipule
c :feuille composée
d :fleurs
e :tomate (baie)

Figure 2 : Rameau de tomate : (Source *INRA,* 1998).

3.2. Systématique

La tomate (*Solanum lycopersicum L*) est une plante herbacée appartenant :

- à la classe des Dicotylédones,
- à la sous classe des gamopétales,
- à l'ordre des Solanales,
- à la famille des Solanacées.

3.3. Botanique

La tomate est une plante à port buissonnant, à fleurs jaune groupées, cultivée dans le monde entier. Le fruit est une baie rouge et juteuse que l'on consomme comme légume frais ou en conserve ou comme un fruit. Il existe de très nombreuses variétés différentes par leur croissance, la taille et la forme des fruits et leur résistance aux maladies (figure 3). Il s'agit des variétés précoces à fruits plats fripés, variétés tardives à gros fruits, type anglo-hollandais, fruit allongé, divers types de tomate cerise (Elise et al., 1989). La culture se fait en plein champ ou sous serre. Un mois après les semis de pépinière ou dès l'apparition des premières feuilles, le repiquage a lieu (INRA, 1998). La plante de tomate peut avoir deux types de croissance très différents et un type intermédiaire (*Elise et al*, 1989). Il s'agit du type brousse (déterminé), le type géant (indéterminé), et le type semi-brousse (semi indéterminé).

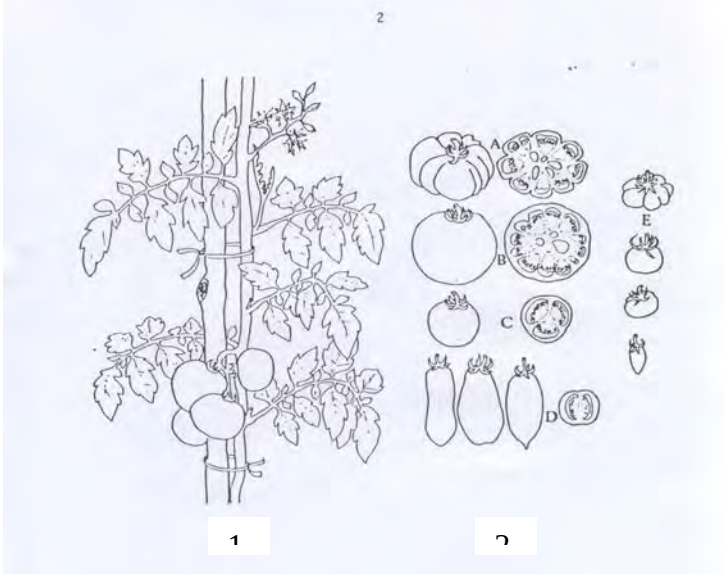


Figure 3 : Aspects morphologique de la plante de tomate

1) attaché à un tuteur
2) différentes formes de fruits

3.4. Culture de la tomate au Sénégal

La tomate préfère des sols pas trop lourds, profonds et meubles, riches en éléments nutritifs et en matières organiques (ISRA, 1999). La culture de la tomate est pratiquée au Sénégal sous irrigation, pendant la saison froide c'est à dire la période qui va de septembre à fin mars. Les principales zones de culture sont la vallée du fleuve et la zone des Niayes. La production de tomate industrielle est de 70000 t/ha (SOCAS) avec une exportation de tomate cerise de 3500 t/ha (Ministère de l'agriculture).

Le Sénégal est le seul pays de l'Afrique de l'ouest francophone à avoir réussi à créer une industrie locale de transformation de tomate en maîtrisant la totalité de la filière. Il existe une unité de production du concentré de tomates: la Société de conserves alimentaires au Sénégal (SOCAS, groupe Moulins Sentenac), située à Dagana. Environ 30 000 tonnes de tomates sont transformées chaque année.

3.5. Conditions de culture de la tomate

La culture de la tomate dépend de certaines facteurs tels que les températures environnantes, le type de sol (argile, sable, etc.). La culture de la tomate peut se faire sous des circonstances climatiques très variées. Selon les travaux d'Elise et al., (1989), La plante ne supporte pas les longues périodes de fraîcheur qui mettent en danger la production de pollen et donc la formation de fruits (tableau 1).

Plante	Température (°C)	Différence

	optimale	minimale	maximale	
Tomate	20 - 27	10	30	5

Tableau 1 : Températures moyennes pour la culture de la tomate Source : (*Elise et al.,*1989).

3.6. Les principaux ennemis des cultures de la tomate au Sénégal

La culture de la tomate au Sénégal connaît des problèmes du fait des attaques dus aux ravageurs, notamment les insectes, les champignons, les nématodes, les virus…

-Les insectes :

Ils provoquent des dégâts considérables et parmi ces insectes, les plus connus au Sénégal sont les suivants : la noctuelle de la tomate (*Heliothis armigera*), qui provoque une trouaison des fruits, *Plusia sp* qui attaque les feuilles et les fruits. (CDH)

Les attaques d'acariens sont également décrites chez la tomate. Certains acariens provoquent un dessèchement prématuré et assez rapide des plantes. Leurs piqûres entraînent le noircissement et la mort des cellules épidermiques, ce qui donne à la face inférieure des feuilles et aux tiges un aspect brillant, huileux et une coloration bronzée. C'est notamment le cas de l'acariose bronzée (*Aculops lycopersici*).

-Les champignons

Les symptômes de maladies fongiques les plus fréquemment rencontrées chez la tomate se manifestent par des pourritures, des tâches… En pépinière, les plantules infestées par (*Alternaria solani*), présentent au niveau du collet et plus haut sur la tige des tâches brunes, allongées, parfois zonées qui peuvent entraîner leur mort. Des tâches peuvent également se présenter sur les tiges et fruits. Les champignons du genre *Rhizoctonia solani* provoquent une pourriture du fruit en présentant de grandes tâches arrondies (1-3 cm) brun foncé, zonées de cercles concentriques qui apparaissent principalement aux endroits de contact des fruits avec le sol (CDH).

- Les nématodes

Les effets des nématodes sur la culture de la tomate sont néfastes, car ils peuvent causer une perte de 100 % des récoltes. Le genre le plus répandu est le *Meloidogyne sp* (SOAS).

- Les maladies à virus

La virose de la tomate ou Tomato yellow leaft curl virus (tylcv) est causée par la mouche blanche (Bemisia tabaci)

- Les maladies non parasitaires

*La nécrose apicale due à l'irrigation, la salinité trop forte de l'eau ou du sol et à des carences en calcium.

*Les coups de soleil sont aussi les principales maladies qui peuvent atteindre la tomate.

3.7. Les méthodes de lutte contre les ennemis des cultures

3.7.1. La lutte chimique

Elle peut être préventive ou curative. Cependant chez les petits producteurs, la lutte chimique non raisonnée est souvent encore très utilisée, mais elle se heurte à deux principaux problèmes : sa fréquente et insuffisante efficacité pour contrôler les parasites telluriques, les insectes, les bactéries, les viroses et les teneurs des produits consommables en résidus de plus en plus surveillées par les consommateurs (Henri L., 1991). Cette méthode de lutte entraîne souvent des phénomènes de résistance.

Comme l'utilisation systématique des pesticides ne garantie pas une lutte efficace et durable contre les ravageurs, alors on peut recourir à des méthodes alternatives pour contrecarrer l'action de ces nuisibles qui représentent une menace potentielle vis-à-vis des cultures.

3.7.2. La lutte biologique

Elle se définit comme une méthode de lutte contre les ennemis des cultures, basée sur l'utilisation des organismes vivants prédateurs parasites, agents pathogènes (*Bacillus thurengiensis*), virus en vue de limiter la population des nuisibles.

C'est ainsi qu'un certain nombre d'auxiliaires utilisés contre les principaux ravageurs des cultures protégées ont été recensés (tableau 2) (Moreau B, 1997).

Tableau 2: Auxiliaires utilisés contre les principaux ravageurs des cultures protégées. Source : « Protection phytosanitaire des légumes et petits fruits » (Moreau B, 1997)

Espèce cultivée	**Ravageurs**	**Auxiliaires « efficace »**
Tomate	Aleurodes	8*Encarsia formosa*
	Pucerons	*Aphelinus absominalis*
	Mineuses	*Diglyphu psaea*
	Noctuelles Pyrales Tordeuses	*Amblysius sp*

Cependant, il existe d'autres moyens de lutte biologique comme l'utilisation de résistances variétales, d'hormones d'insectes, de stérilisation etc.

En d'autres termes, elle consiste en une exploitation d'organismes vivants (insectes, champignons, virus, bactéries etc.) ou des produits d'organismes vivants dans le but de contrôler des organismes nuisibles. (Hervé S., 1994 ; Moreau B., 1997)

3.7.3. Lutte intégrée

La lutte intégrée ou protection intégrée est l'emploi combiné et raisonné de toutes les méthodes dont on dispose de façon à maintenir les populations de ravageurs à un niveau assez bas pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables (Hervé S., 1994 ; Moreau B., 1997).

On combine pour cela :

-La lutte chimique utilisée au moment opportun du développement biologique des ravageurs,

- La lutte biologique qui exploite les ennemis naturels du parasite,
- Les méthodes culturales qui consistent à modifier les techniques agricoles : l'utilisation de variétés résistantes, décalage des semis, rotation ou assolement, fertilisation équilibrée.

Comme méthode culturale, on a le cas des margousiers utilisés en Inde depuis des siècles dégageant une odeur qui repousse les insectes et le neem qui est aussi un insectifuge. (Ester Z., 1993).

Matériel et Méthodes

1. Sites expérimentaux

Deux sites expérimentaux ont été utilisés :

-Le premier site (plein champ) est situé dans la communauté rurale de Sangalkam (village de Gorom), appartenant à la zone agroécologique des Niayes. Il s'agit d'une exploitation de type privée. La zone des Niayes est constituée d'un réseau de cuvettes interdunaires inondées par la nappe phréatique tout le long de la côte nord. Ces cuvettes sont situées au contact des systèmes dunaires littoraux et de l'erg ogolien, ce qui explique leur double appartenance aux écosystèmes côtiers et continentaux (CONSERE, 1997). En effet, le climat y est de type tropical subcanarien dominé par des alizés atlantiques. Elle subit aussi l'influence marine du courant froid des canaries. La saison fraîche dure 6 à 7 mois et s'étale d'octobre à mai. Les disponibilités en eau sont satisfaisantes du fait de la relative proximité de la nappe phréatique à certains endroits. Les sols des bas-fonds sont hydromorphes, meubles et facilement défrichables (CONSERE, 1997).

-Le deuxième site est celui de la serre du jardin botanique du département de biologie végétale de la faculté des sciences et techniques. C'est une zone proche de l'océan. Les alizés qui soufflent le long de la côte font baisser les températures. La moyenne des maximales diurne est de 24°C de janvier à mars et entre 25 et 27°C en avril, mai et décembre. De juin à octobre, les températures atteignent 30°C. L'insolation relative dépasse 50%. Les vitesses moyennes mensuelles du vent sont en général de $2ms^{-1}$. Le terrai présente un relief plat.

2. Potentiel Mycorhizogène du sol (MPN)

La détermination du potentiel mycorhizogène du sol concerne la partie plein champ. Des prélèvements de sol au niveau de la couche superieure allant de 0 à 15 cm sont effectués dans le site de Gorom, afin de déterminer le potentiel mycorhizogène du sol par la méthode Most Probable Number avec le mil comme plante mycotrophe.

2.1. Préparation des terres

Une partie des échantillons de sol prélevés a été stérilisée à l'autoclave à 120°C pendant deux heures. Après autoclavage, des dilutions allant de10^{-1} à 10^{-6} ont été effectuées en homogénéisant dans un bêcher à l'aide d'une spatule un mélange de sol stérilisé et de sol non stérilisé d'un même échantillon. Six niveaux de dilutions ont été réalisés et les échantillons ont été mis dans des multipots de capacité 1.5 kg et remplis aux 2/3 avec 5 répétitions par niveau de dilution. Le principe suivant a été utilisé pour réaliser les dilutions (annexe 1):

- Dilution 10^{-1} : 30 g de sol non stérile + 270 g de sol stérile = 300 g (1). A partir de ces 300 g de mélange, 250 g vont être prélevés et répartis dans les cinq répétitions à

raison de 50 g par pot et sur les 50 g de mélange restants, 30 g vont etre prélevés pour la dilution 10-2

- Dilution 10^{-2} : 30 g (1) + 270 g de sol stérile = 300 g (2)
- Dilution 10^{-3} : 30 g (2) + 270 g de sol stérile = 300 g (3)
- Dilution 10^{-4} : 30 g (3) + 270 g de sol stérile = 300 g (4)
- Dilution 10^{-5} : 30 g (4) + 270 g de sol stérile = 300 g (5)
- Dilution 10^{-6} : 30 g (5) + 270 g de sol stérile = 300 g (6)

2.2. Conditions de la culture

Les graines de mil sont désinfectées dans de l'eau de javel diluée de moitié pendant trois minutes puis rincées à l'eau distillée avant d'être trempées dans de l'eau pendant trente minutes. Ensuite, elles sont mises à germer dans des boites de Pétri contenant de la gélose et placées à l'obscurité à 30°C. Au bout de 48 heures, les plantules sont repiquées dans des multipots, à raison d'une par pot. Les plaques multipots ont été par la suite transférées en serre et arrosées régulièrement à l'eau de robinet pendant 6 semaines.

2.3. Récolte et Coloration

Après 6 semaines de culture, les plants de mil sont récoltés et les parties racinaires ont été séparées des parties aériennes. Les racines, délicatement débarrassées de la terre sont colorées selon la méthode de Philips et Hayman, (1970) afin d'évaluer le taux de mycorhization. Les racines séparées des parties aériennes sont soigneusement rincées à l'eau de robinet afin d'éliminer les particules de sable. Elles sont ensuite placées dans des tubes à essais puis du KOH est ajouté dans chaque tube de sorte que les racines baignent dans la solution. Les racines sont décolorées et vidées de leurs contenus cytoplasmiques. Les tubes contenant les racines sont portés à ébullition dans un bain marie (90°C) pendant 1 heure. Les racines sont par la suite abondamment rincées et colorées au bleu Trypan (0,05%) pendant 30 minutes. L'examen histologique est effectué en déposant les fragments de racines (0,5 cm de longueur) sur des lames avec quelques gouttes de glycérol.

2.4. Observations

Chaque système racinaire est observé à la loupe (X 40) et le comptage effectué en tout ou rien ; c'est à dire que la plante est considérée comme mycorhizée à partir du moment où l'on observe au niveau d'un fragment racinaire un point d'infection ou une figure de colonisation (hyphes ou vésicules).

2.5. Estimation du nombre le plus probable de propagules

Cette estimation est faite par l'intermédiaire de la table 1 de Cochran 1950 (annexe 2), à partir des résultats (mycorhizés ou non) obtenus pour chacune des dilutions et pour les cinq répétitions. En faisant la lecture de cette table (annexe 1), il faut prendre la dernière dilution pour laquelle la mycorhization est observée dans les cinq

répétitions ; si ce cas ne se présente pas, la dernière dilution contenant le plus de pots mycorhizés. Puis en comptant le nombre de plants de mil mycorhizés de cette dilution et des deux suivantes, on obtient un nombre de trois chiffres que l'on reporte dans la table. Celle ci nous fournit un coefficient et on obtient le MPN pour 50 g de sol initial en multipliant ce coefficient par le facteur de dilution de la deuxième dilution.

3. Matériel végétal

Trois spéculations sont utilisées pour les différentes expérimentations. Il s'agit :

3.1. La tomate

La tomate (*Lycopersicum esculentum*) est une plante appartenant à la famille des Solanacées. La variété Heinz (tomate de table) a été testée.

3.2. Le maïs

Le mais (*Zea mays*) est une plante herbacée appartenant à la famille des Graminées et originaire d'Amérique tropicale. Il présente beaucoup de facilité de croisements et actuellement toutes les variétés utilisées en agriculture intensive sont des hybrides. Le système racinaire comporte trois types de racines, les feuilles sont longues et larges. Le grain est un caryopse. L'épi porte les graines qui servent à l'alimentation. Il est exigeant en eau et sensible à la variation de fertilité du sol.

3.2. Le mil

Le mil est une plante appartenant au genre *Pennisetum* de la famille des Graminées. Il est originaire d'Afrique occidentale et est une culture alimentaire des zones chaudes. Le système racinaire est fasciculé, la tige atteint 1,5 à 2,5 m de hauteur. L'inflorescence est un faux épi situé au niveau de la tige. Les grains ont une enveloppe dure et lisse. Il a une capacité de tallage élevée et peut produire après avoir reçu 200 mm de pluie.

4. Matériel fongique

Une seule souche de champignon mycorhizien arbusculaire a été utilisée pour les différentes expérimentations.

4.1. Origine

La souche de champignon mycorhizien arbusculaire qui a servi à inoculer les plantes est *Glomus aggregatun* (Ga) (Schenk & Smith emend. Koske), isolée à Djignaki au Sénégal (DAOM 227 128).

4.2. Production de l'inoculum

La production d'inoculum du champignon mycorhizien arbusculaire Glomus aggregatum est réalisée en serre. Cette souche est produite et entretenue par des cultures régulières en association avec une plante mycotrophe (maïs) dans des pots

de capacité 1.5 kg contenant comme substrat de culture, du sable grossier de plage stérilisé à 120°C pendant deux heures dont les caractéristiques physico-chimiques sont décrites dans le tableau 3.

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du sable de plage (Diop, 2003)

Constituants	Teneurs
argile	0,0
Limon fin	0,00
limon grossier	0,00
sable fin	0,16%
sable grossier	98,2%
matière organique	0,00
C	<0,08%
P (ppm)	16,00
N	0,073‰
C/N	Presque nul
pH	8.50

L'inoculation se fait après levée des plants de maïs en apportant la souche *Glomus aggregatum* en raison de 20 g dans le substrat à 2 ou 3 cm de profondeur, le plus près possible des racines de la plante piège. Les plantes sont régulièrement arrosées avec un apport de 100 ml d'une solution nutritive de Long Ashton tous les 15 jours (Annexe 3). Au bout de 3 mois, la récolte des plantes est effectuée en prélevant d'une part le substrat qui sera séché et mis dans des sachets en plastique et d'autre part les racines qui sont soigneusement rincées et placées dans des tubes fermés . L'ensemble des échantillons récoltés est conservé au froid à 4°C jusqu'à utilisation.

5. Produits phytosanitaires

Plusieurs produits phytosanitaires sont utilisés dans nos expérimentations parmi lesquels :

- des insecticides tels que le diméthoate, le bénomyl, le furadan ;
- des fongicides tels que le soufre, et le manèbe ;
- des acaricides comme le péropal (Annexe 3).

6. Fertilisants

Deux types d'engrais ont été utilisés lors des différentes expérimentations. Il s'agit :

d'engrais simples tels que l'Urée (46%) ; et d'engrais composés contenant trois éléments fertilisants (l'azote, le phosphore et le potassium) majeurs désignés par la formule NPK. La formule utilisée pour la tomate est le 10.10.20.

7. Substrats de culture

Lors des différentes expérimentations, deux substrats ont été utilisés. Il s'agit : Du sable de plage pour l'expérimentation en serre, dont les caractéristiques physico-chimiques sont décrites dans le tableau 1 et du sable de Gorom dont les caractéristiques sont représentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques du sol de Gorom

Constituants	Teneurs
Matière organique	0.6%
Carbone total	0.3%
Azote total	0.02%
Potassium total	333.5ppm
Phosphore total	41.4ppm
Phosphore assimilable	2.1ppm
Calcium total	1.03ppm
Magnésium total	0.30ppm
Sable	88.8%
Argile	5.4%
Limon	5.8%
ph (H_2O)	6.0%
Ph (KCL)	4.6%

8. Dispositifs expérimentaux

II.8.1. Champ

II.8.1.1. Préparation des planches de semis pour la pépinière

Après désherbage du terrain, 8 planches de 2 mètres de long et 1 mètre de large, ont été réalisées (figure 4).

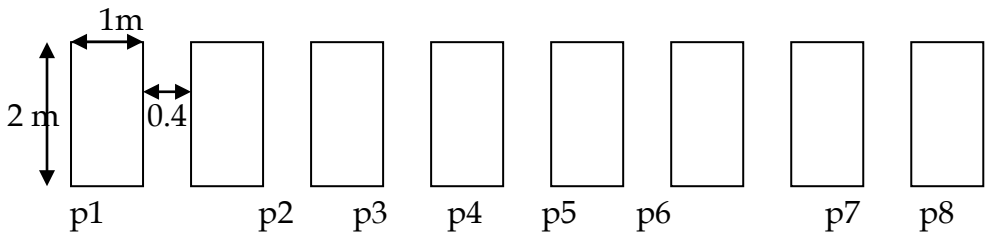


Figure 4 : Schéma des planches de pépinière

Les planches, distantes de 40 centimètres sont nivelées. Après avoir effectuée une préirrigation avec l'eau de puits (4 arrosoirs par planche) et corrigé le planage, des sillons espacés de 20 centimètres et profonds de 1 centimètre ont été tracés (figure 5).

Figure 5 : Confection des planches de semis

L'inoculation a été effectuée au moment des semis à raison de 60 g d'inoculum par sillon. Les graines semées sont distantes de 1 cm. Les traitements suivants ont été effectués :

planche 1 : P + F……(Produit phytosanitaire + Fertilisation)

planche 2 : Ga……(*Glomus aggregatum*)

planche 3 : F……..(Fertilisation)

planche 4 : Ga + P…….(*Glomus aggregatum* + Produit phytosanitaire)

planche 5 : Ga + F…….(*Glomus aggregatum* + Fertilisation)

planche 6 : Ga+ P + F...(*Glomus aggregatum* + Produit phytosanitaire + Fertilisation)

planche 7 : P……..(Produit phytosanitaire)

planche 8 : T……..(Témoin)

p = Planche

Le traitement phytosanitaire consiste en une application combinée de fongicides et d'insecticides dont les doses, les dates, et les modes d'application sont présentés dans le tableau 5.

Le traitement fertilisant consiste en une fumure de fond N, P, K apportée à raison de 50 g/m^2. La durée de la pépinière est de 4 semaines.

Tableau 5 : Calendrier, doses et mode d'application des produits phytosanitaires

Produits	Doses	Mode d'application	N°Planches	Période
Furadan	20g/m2	incorporation	1, 4, 6, 7	J = semis
Diméthoate + Bénomyl	20ml/10l 10g/10l	pulvérisation	1, 4, 6, 7	J + 10
Diméthoate + Bénomyl	20ml/10l 10g/10l	pulvérisation	1, 4, 6, 7	J + 20

J = Jour de semis

J + 10 = 10 jours après semis

J + 20 = 20 jours après semis

Le traitement phytosanitaire a été effectué à l'aide d'un pulvérisateur à dos.

8.1.2. Repiquage

Après désherbage du terrain, des planches de 0.56 m^2 sont confectionnées pour le repiquage des plants issus de la pépinière. Au niveau de ces planches, un dispositif randomisé avec 16 traitements et 4 répétitions par traitement a été adopté. Les traitements sont les suivants.

1- Témoin (T)
2- Produit phytosanitaire + Fertilisation (P + F)
3- *Glomus aggregatum* (Ga)
4- Fertilisation (F)
5- *Glomus aggregatum* + Produit phytosanitaire (Ga + P)
6- *Glomus aggregatum* + Fertilisation (Ga + F)
7- *Glomus aggregatum* + Produit phytosanitaire + Fertilisation (Ga+ P + F)
8- Produit phytosanitaire (P)
9- *Glomus aggregatum* au repiquage (Ga_R)
10- Produit phytosanitaire + Fertilisation + *Glomus aggregatum* au repiquage (P + F +Ga_R)
11- Glomus aggregatum + Glomus aggregatum au repiquage (Ga + Ga_R)

12- Fertilisation + Glomus aggregatum au repiquage (F + Ga_R)

13- Glomus aggregatum + Produit phytosanitaire + Glomus aggregatum au repiquage (Ga + P + Ga_R)

14- Glomus aggregatum + Fertilisation + Glomus aggregatum au repiquage (Ga + F + Ga_R)

15- Glomus aggregatum + Produit phytosanitaire + Fertilisation + Glomus aggregatum au repiquage (Ga + P + F + Ga_R)

16- Produit phytosanitaire + Glomus aggregatum au repiquage (P + Ga_R)

Ga = *Glomus aggregatum*
P = Produits phytosanitaires
F = Fertilisation
Ga_R = *Glomus aggregatum* au repiquage
Le tableau 6 présente le calendrier, les doses et le mode d'application des produits phytosanitaires.

Tableau 6 : Calendrier, doses et mode d'application des produits phytosanitaires

Produits	Doses	Période
Soufre	60 g / 12l	R + 8
soufre	60 g / 12l	R + 16
Manèbe		R + 26
Bénomyl + Péropal		R + 34
Péropal		R + 52

Figure 6 : Désherbage du terrain

Figure 7 : Repiquage des plants de tomates au niveau des blocs

8.2. Serre

Le sable de plage a été stérilisé et mis dans des pots de capacité 1.5 kg. Le dispositif expérimental comportait 6 traitements et 9 répétitions soit un nombre de 54 pots. Après levée, les plantes ont été inoculées au niveau des poquets en raison de 20 g par poquet avec le champignon *Glomus aggregatum*.

Les traitements suivants ont été effectués :

- Témoin
- Soufre
- Manèbe
- Bénomyl
- Péropal
- Ga

9. Paramètres mesurés

Les paramètres étudiés sont les suivants :

- La mycorhization : A la fin de chaque expérimentation, les racines des plantes sont prélevées et mises à coloration selon la méthode de Philips et Hayman, (1970) afin d'évaluer le taux de mycorhization.
- Le rendement : Il correspond à la quantité de fruits qui a été récoltée durant toute l'expérimentation et il est exprimé en tonnes/Ha
- Poids sec aérien et racinaire : A la fin de l'expérimentation, les parties aériennes et racinaires des plantes ont été arrachées afin d'évaluer la biomasse aérienne et racinaire.

Résultats

1. Potentiel mycorhizogène (MPN) du sol de Sangalkam

Le potentiel mycorhizogène du sol de Sangalkam a été déterminé après six semaines de culture sur une plante mycotrophe, le mil (*Pennisetum*) figure 8. Le MPN obtenu est de 170 propagules par 50 g de sol avec un intervalle de confiance de 5.1 à 3.5. Ce résultat révèle une pauvreté du sol de Sangalkam en propagules mycorhizogènes.

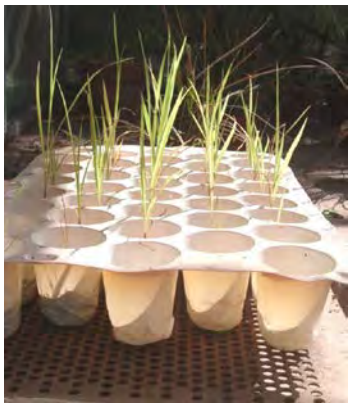


Figure 8: Détermination du potentiel mycorhizogène du sol de Gorom
après 6 semaines de culture
Plante mycotrophe : mil ; méthode MPN (Most Probable Number)

2. Rendements

2.1. La biomasse sèche des parties aériennes

Le tableau 7 présente les résultats obtenus sur la biomasse sèche des parties aériennes des plants de tomate en fonction des différents types de traitements, après 3 mois de culture. Les biomasses obtenues pour les différents traitements varient de 5.05 g à 28.23 g .

Avec le traitement *Glomus aggregatum* seul (Ga), la biomasse aérienne obtenue est de 13.38 g, il est supérieur avec une différence significative à celle obtenue avec le témoin qui est de 10,2 g. Par ailleurs, ce poids augmente lorsque le champignon *Glomus aggregatum* est associé avec la fertilisation et le produit phytosanitaire (Ga + P + F), il passe de 13.38 g à 28.23 g, soit une augmentation de 14.85 g. Par contre, lorsque le champignon Ga est associé au produit phytosanitaire (Ga + P), le poids sec aérien de la tomate baisse de manière significative pour atteindre la valeur de 5,05 g. Il en est de même pour le traitement phytosanitaire seul (P) qui entraîne aussi une baisse significative de la biomasse aérienne de la tomate avec une valeur de 5,87 g. Dans le cas où le traitement est appliqué avec la fertilisation seule (F), le poids de matière sèche obtenu présente une augmentation de 5,1 g par rapport au traitement *Glomus aggregatum* seul (Ga), il passe de 13.38 g à 18.48 g . Il en est de même pour le

traitement qui associe *Glomus aggregatum* et la fertilisation (Ga + F), avec dans ce cas une augmentation de la biomasse aérienne de plus de 4 g par rapport au traitement Ga. Dans le cas où le traitement consiste en une double inoculation, c'est à dire au semis et au repiquage (*Glomus aggregatum* + *Glomus aggregatum* au repiquage), la biomasse aérienne obtenue est de 9.92 g. Cette valeur est inférieure avec une différence significative comparée au poids de matière sèche obtenu avec le traitement Ga qui est de 13,38 g. Par contre, elle ne présente pas de différence significative par rapport au poids obtenu avec le témoin qui est de 10.20 g.

Tableau 7: valeurs de la biomasse sèche des parties aériennes

Traitements	**biomasse aérienne (g)**
Ga + P + F	28.23 a
Ga + F + Gar	25.28 a
F + Gar	21.08 b
P + F + Gar	20.73 b
Ga + P + F + Gar	18.84 c
F	18.48 c
Ga + F	17.73 c
P + F	14.54 d
Ga	13.38 d
Ga + P + Gar	11.33 e
T + Gar	10.60 e
P + Gar	10.55 e
Ga + Gar	9.92 e
P	5.87 f
Ga + P	5.05 f
T	10.20 e

∗Pour chaque colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à P< 0.05 (test de Newman et keuls).

2.2 la biomasse sèche de »s parties racinaires

Le tableau 8 présente les résultats obtenus sur la biomasse sèche des racines de plants de tomate pour les différents types de traitements. La biomasse des parties racinaires varie de 0.63 g pour le traitement phytosanitaire seul (P) à 2.52 g pour le traitement qui associe *Glomus aggregatum*, la fertilisation et le produit phytosanitaire (Ga + P + F). La biomasse obtenue avec le traitement *Glomus aggregatum* seul (Ga) est de 2.05 g. Cette valeur est supérieure avec une différence significative à celle obtenue avec le témoin et qui est de 0.83 g. Lorsque le champignon *Glomus aggregatum* est associée avec la fertilisation et le produit phytosanitaire (Ga + P + F), la biomasse racinaire augmente et passe de 2.05 g à 2.52 g.. Pour les traitements phytosanitaire seul (P) et *Glomus aggregatum* en association avec le produit phytosanitaire (Ga + P), les biomasses sèches des racines présentent des baisses significatives par rapport au traitement Ga ; les valeurs obtenues sont respectivement 0.63 g et 0.77 g.. Avec la fertilisation seule (F), le poids de matière sèche racinaire de la tomate qui est de 2,23 g est plus élevé que celui obtenu avec le champignon seul Ga avec cependant une différence non significative. Par contre dans le cas où champignon *Glomus aggregatum* est associé avec la fertilisation (Ga + F), cette biomasse racinaire est de 1.63 g, soit une baisse significative de 0.42 g par rapport au traitement *Glomus aggregatum* seul. La biomasse sèche racinaire pour le traitement qui correspond à la double inoculation est de 0,74 g. Elle est cependant inférieure à celle obtenue avec le Ga et le témoin (T).

Tableau 8 : Valeurs de la biomasse sèche des parties racinaires

Traitements	Poids secs racinaires (g)
Ga + P + F	2.52 a
Ga + F + Gar	1.96 b
F + Gar	1.75 b
P + F + Gar	1.81 b
Ga + P + F + Gar	1.35 c
F	2.23 a
Ga + F	1.63 b
P + F	1.26 c
Ga	2.05 a
Ga + P + Gar	1.43 c
T + Gar	1.67 b
P + Gar	1.50 c
Ga + Gar	0.74 d
P	0.63 d
Ga + P	0.77 d
T	0.83 d

∗Pour chaque colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à P< 0.05 (test de Newman et keuls).

2.3 Production

Le tableau 9 présente les rendements obtenus en fonction des différents types de traitements. Ces rendements varient entre 2.26 t/ha et 19.77 t/ha et ont été obtenus avec un cumul de trois récoltes sur un potentiel de 8 récoltes. Les niveaux de production les plus élevés sont obtenus avec le traitement *Glomus aggregatum* seul (Ga) avec une valeur de 19.77 t/ha. Ce rendement diminue lorsque *Glomus aggregatum* est associé avec la fertilisation et le produit phytosanitaires (Ga + P + F) ; il passe de 19.77 t/ha à 18.38 t/ha, avec une différence significative.

Les valeurs obtenues avec le témoin (2.62 t/ha) et le traitement phytosanitaire seul (3.5 t/ha) sont nettement inférieures comparées à elles obtenues ave *Glomus aggregatum* (19.77 t/ha), soit des augmentations significatives qui sont respectivement 17.15 t/ha et 16.27 t/ha. L'association champignon mycorhizien et produit phytosanitaire (Ga + P) donne un rendement de 2,77 t/ha qui est inférieur avec une différence significative à celui obtenu avec le traitement Ga seul. Lorsque le Champignon est associée avec la fertilisation, le rendement obtenu est de 7.41 t/ha. Cette valeur reste aussi inférieure à celle obtenu avec le traitement *Glomus aggregatum* seul qui est de 19.77 t/ha. Les rendements obtenus avec la double inoculation sont inférieurs avec une différence significative à celles obtenus avec Ga seul.

Tableau 9 : Quantité de fruits obtenue après 3 récoltes

Traitements	Rendements (t/ha)
Ga + P + F	18.38 b
Ga + F + Gar	8.59 d
F + Gar	6.45 e
P + F + Gar	5.18 e
Ga + P + F + Gar	12.06 c
F	7.78 d
Ga + F	7.41 d
P + F	7.57 d
Ga	19.77 a
Ga + P + Gar	6.00 e
T + Gar	5.50 e
P + Gar	5.36 e
T	2.62 g
Ga + Gar	2.26 g
P	3.5 f
Ga + P	2.77 g

∗Pour chaque colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à P< 0.05 (test de Newman et keuls).

Discussions

Effectivité des propagules endogènes

Les résultats du MPN du sol de Sangalkam ont permis de montrer la présence de structures mycorhiziennes (spores, hyphes, vésicules, arbuscules) capables d'induire une infection mycorhizienne. Cependant la faible densité de propagules observée est liée à la localisation du site d'étude (zone sahélienne sèche), comme cela a été décrit par les travaux de Diop *et al.*, (1994) qui ont montré que le potentiel infectieux des champignons mycorhiziens arbusculaires est faible dans les zones sahéliennes sèches du Sénégal. La faible intensité de ces propagules trouvée dans ce site d'étude peut aussi être liée à une faible biodiversité, en effet, d'après les travaux de Van der Heijden *et al.*(1998) et Miller et Jastrow (1992), la richesse d'un sol en propagules de champignons telluriques est corrélée à la richesse de la végétation des écosystèmes. Par ailleurs, les résultats des analyses physico-chimiques du sol de Sangalkam ont révélé une teneur en phosphore relativement faible, ce qui peut expliquer la faible présence de ces propagules. Ces résultats sont confirmés par Plenchette *et al.*, (1983), Sieverding (1991) et Diop (1996), qui précisent qu'un taux élevé de phosphore constitue un effet négatif sur la mise en place et l'expression des champignons mycorhiziens arbusculaires.

Développement végétatif

Les résultats obtenus ont montré que l'inoculation de la tomate avec le champignon Glomus aggregatum (Ga) entraîne une amélioration du développement végétatif des plantes. Ces résultats ont été démontrés par plusieurs auteurs parmi lesquels Cooper et Tinker, 1978 ; Strullu et al., 1981 ; francis al., 1986 ; Declerck et al., 1994 qui ont montré que les effets bénéfiques des mycorhizes sont notés surtout à travers une amélioration de la nutrition phosphatée, de l'absorption du potassium, de l'azote et des oligoéléments tels que le cuivre le zinc et le soufre. Les hyphes mycéliens augmentent la surface d'absorption causant ainsi la disponibilité des éléments peu mobiles comme le P, le Cu et le Zn (Lambert et al, 1979 ; George et al, Ortas et al, 1996). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Daft et El-Giahmi, Mosse B. (1981), Parvathi et al. (1985) qui ont montré que l'inoculation de plants d'arachide avec des champignons MA entraîne un important développement

végétatif. Par ailleurs d'après Harley et Smith, l'inoculation mycorhizienne induit une bonne croissance des plantes. L'association *Glomus aggregatum* avec le fertilisant entraîne une augmentation du poids sec végétatif. Donc l'apport de fertilisants à la dose indiquée par les itinéraires techniques de la culture de la tomate au Sénégal n'inhibe pas l'efficacité du champignon.

Ceci est contradictoire avec les résultats de Bruce et al, 1994 qui ont montré que les teneurs élevées en phosphore du sol réduisent non seulement la dépendance mycorhizienne mais diminue la formation de la symbiose MA ; et les travaux de Sylvia et Schenk, 1983 ; Thomson et al., 1986 précisent également que les taux élevés de phosphore diminuent l'importance de la communauté des champignons MA. Cependant des études en milieu contrôlé permettront de préciser à partir de quel niveau la fertilité inhibe le développement des champignons. Par contre lorsque l'inoculation mycorhizienne est associée avec le produit phytosanitaire, on constate une diminution considérable du poids de matières sèches par rapport au témoin. Autrement dit, l'application de produits phytosanitaires entraîne des effets négatifs sur le développement des plantes myorhizées. Ces produits phytosanitaires empêchent l'expression des champignons endogènes. Et d'après les travaux de Ocampo et Hayman, 1980 ; Pope et Holt, 1981 ; Nemec et Tucker, 1983 ; Sieverding et Leihner, 1984 ; Gonzalez Chavez et Ferrara-Cerrato, 1987 ; Perrin et Plenchette, 1993 ; Veeraswamy et al., 1993, certains produits phytosanitaires ont une influence négative sur les endomycorhizes. Ces résultats sont analogues aux travaux de Menge, 1982 ; Trappe et al., 1984 qui ont aussi montré que l'utilisation de certains produits phytosanitaires dans les pratiques culturales entraîne des effets dépressifs sur le développement des champignons mycorhiziens arbusculaires. Cependant des études en milieu contrôlé nous permettent de préciser l'action de chaque pesticide. Le même résultat est obtenu lorsque le produit phytosanitaire est appliqué seul c'est-à-dire une baisse du développement végétatif est noté par rapport au traitement glomus aggregatum et aussi par rapport au témoin.

Production

D'après ces résultats, les rendements les plus élevés sont obtenus avec le traitement *Glomus aggregatum* Ga. Ce qui révèle une amélioration de la nutrition minérale et hydrique des plantes mycorhizées par les champignons, comme cela a été démontré par plusieurs auteurs parmi lesquels Cooper et Tinker, 1978 ; Strullu et al, 1981 ; Francis et al, 1986 ; Declerck et al, 1994 qui ont montré que le phosphore, l'azote, le potassium et les oligoéléments sont bien assimilés dans les complexes mycorhiziens. Cette amélioration de la nutrition se traduit par une augmentation du rendement par rapport au témoin. Par ailleurs, cette augmentation de rendement est en conformité avec les résultats obtenus par Al-Karaki, 2001. Lorsque l'inoculation est associée avec le fertilisant, le rendement baisse.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Kucey et Paul, (1983), qui ont montré qu'une fertilisation accrue notamment en phosphore inhibe l'effet des champignons mycorhiziens arbusculaires sur le rendement. Cette baisse peut être liée à la quantité de fertilisant utilisée et le moment de son application. Ces résultats confirment les travaux de Sylvia et shcenk, 1983 ; Thomson et al ; 1986 qui ont montré que les doses élevées de phosphore peuvent entraîner une diminution de l'importance de la communauté des champignons MA. Et d'après Schubert et hayman, 1986, le fonctionnement de la symbiose est maximal quand la teneur de P est de 50 mg kg^{-1}. Cependant d'autres études en milieu contrôlé nous permettront de voir l'influence des autres éléments minéraux tels que le potassium (k) et l'azote (N) sur la mycorhization. L'association Glomus aggregatum avec le produit phytosanitaire entraîne une diminution du rendement comparée à l'utilisation de champignon seul qui donne le rendement le plus élevé. Cette diminution de rendement observé s'explique par le fait que certains produits phytosanitaires entraînent des effets néfastes sur la mycorhization (Ocampo et Hayman, 1980). Et des études plus poussées permettront d'étudier l'action de chaque produit phytosanitaire sur le développement des champignons mycorhiziens. Il n'y a pas de corrélation logique entre l'augmentation des poids secs aérien, racinaire et le rendement. L'application du produit phytosanitaire seul entraîne aussi une baisse du rendement par rapport au traitement Glomus aggregatum et au témoin. Ces résultats sont contradictoires

avec les travaux de Cissé et al qui ont montré que l'utilisation des produits phytosanitaires permet d'atténuer l'effet des ravageurs sur les cultures et d'accéder ainsi à des rendements satisfaisants dans un contexte propice au développement des parasites.

Conclusion et perspectives

L'utilisation des produits phytosanitaires en agriculture entraîne des effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement. Les résultats de nos travaux sur l'application de la technologie de l'inoculation dans les itinéraires techniques agricoles ont montré la capacité du champignon mycorhizien *Glomus aggregatum* à se substituer aux produits phytosanitaires et à obtenir des niveaux de production élevés chez la tomate, avec une réduction des coûts de production.

Ces résultats prometteurs permettent d'envisager avec l'utilisation des champignons MVA, des systèmes culturaux plus sains. Autrement dit, l'apport des champignons mycorhiziens pourrait permettre une réduction des produits phytosanitaires pour la restauration de l'équilibre environnemental et l'obtention de produits de qualité. C'est à dire une orientation vers une agriculture moins consommatrice d'engrais, plus respectueuse de l'environnement, soucieuse de la qualité des produits et de leur effets sur la santé.

Les résultats obtenus en serre ont montré que l'application de certains pesticides pourrait exercer une action défavorable sur le développement des champignons MVA.

Cependant des études fondamentales devront être menées pour :
la mise en place d'une unité de production et de distribution de l'inoculum,
l'intégration de la technologie de l'inoculum dans les itinéraires techniques agricoles,
le maintien d'une banque de champignons fiables susceptible d'être propagé dans les systèmes agricoles,

Références bibliographiques

Ames R. N., Reid C. P., Porter L. K., and Cambardella C. (1983). Hyphal uptake and transport of nitrogen from two ^{15}N-labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhyzal fungus, *New Phytol*, 95: 381-396.

Anonyme. (1985). Parkinson durch pesticide. in *Natur*, 12, p 13.

Bowen G. D. (1973). Mineral nutrition of Ectomycorrhizae. Dans "Ectomycorrhizae", G. C. Marks et T. T. Korlowski, éd., Academic Press, New York, 151-205.

Camiré C. (1987). Note de cours sur la pédologie forestière. Université laval.

Cisse I. (2000). Utilisation des pesticides dans le système de production horticole dans la zone des Niayes : les produits et leur impact sur la nappe phréatique. Thèse de doctorat de troisième cycle. 187p + annexes. UCAD.

Cisse I., Fall S.T., Akinbamijo O.O., Diop Y.Mb., Adedrian S.A. (2001). Agriculture urbaine intensive et santé publique: l'utilisation des pesticides et leurs incidences sur la contamination des nappes phréatiques et les risques sur la santé des populations dans la zone des Niayes au Sénégal. In Agriculture urbaine dans les villes Ouest – Africaines : Impacts des systèmes intégrés de production intensive. Workshop / Séminaire Atelier. 05 – 08 Août 2001 – 09. 21. Savana – Saly Portudal. Sénégal. 19p.

CONSERE, (1997). Expérimentation sénégalaise en matière de lutte contre la désertification. Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature. 69p.

Cooper K.M., Tinker P.B. (1978). Translocation and transfer of nutrients in vesicular – arbuscular mycorhizas. II. Uptake and translocation of phosphorus, zinc, and sulphur. *New phytologist* 81: 43 – 52.

David A., Fairshild E. J. (1980). Occupational pesticide hazards in activities of who's office of occupational health: haematological criteria for health assessment; in Coutts H. H. Field workers exposure during pesticide application; Elsvier, Amsterdam.

Declerck S., Devos B., Devaux B., Plenchette C. (1994). Growth response of micropropagated banana plants to VAM inoculation. Fruits 49: 103-109.

Dehne H.W. (1982). Interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathologische Zeitung*, 72, 1115-1119.

Dommergus Y. et Mangenot F. (1970). Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie (eds.), Paris, 477p.

Duddridge J.A., Malibari A.S., Read D.J. (1980). Structure and function of mycorrhizal rhizomorphes with special reference to their role in water transport. *Nature*, 287, 834-836.

Elise P., Erik D., Mario A., Sam Chin A T., Teus Van L. (1989). Agrodok 17: La culture de la tomate, du piment et du poivron; Agromisa, Wageningen, 55p.

Ester Z. (1993). Pesticides qui poussent sur les arbres ; Enda pronat ; 23p.

F.A.O. (Food and Agriculture organisation) / W.H.O. (World Health Organisation). (1986). Codex maximum limits for pesticides residues. Rome, F.A.O./W.H.O. codex alimentarius commission, vol XIII, 2°edit.

Feldemann F., Junqueira N.T.V., Lieberei R. (1990). Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhiza as a factor of intergrated plant protection. Prague, August. Agricultures and Ecosystems 28.

Francis R., Finlay R.D., Read D.J. (1986). Vescular-arbuscular in natural vegetation systems. IV. Transfer of nutrient in inter and intra-specific combination of host plants. *New Phytologist* 102: 103-111.

Garci Garrido J.M., Ocampo J.A. (1987). Interacion entre micorrizas VA y organismos patogenos de plantas. *An. Edafol. Agrobiolog*., 56, 1233-1245.

Garcia-Garrido J.M. and ocampo J.A. (1988). Interaccion entre *G. mosseae* y *Pseudomonas syringae* en la rizosfera de plantas de tomate, an. Edafol. Agrobiol., 47 : 1679-1686.

Gerdeman J.W. (1968). Vesicular – arbuscular mycorrhiza and plant growth. Ann. Rev. Phytopatol., 6. 397-418.

Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. (1976). Enzymatic studies on the metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. Effect of mycorrhiza formation and phosphorus nutrition on soluble phosphatase activities in onion roots. *Physiol. Veg*., 14, 833-841.

Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. (1978). Enzymatic studies on the metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhiza. II. Soluble alkaline phosphatase specific to mycorrhizal infection in onion roots. *Physiol. Plant Pathol*., 12, 45-53.

Gibons S. M., Hoss V.G., Laseter L.J., Rea W.J. (1987). Physician's clinical guide – A clinical guide to toxic chemicales. Enviro – health information center, Richardson, Texas, p:87 – 89.

Gildon A. and Tinker P. B. (1983 a). Interactions of vesicular arbuscular mycorrhizal infections and heavy metals in plants. I. The effects of heavy metals on the development of vesicular arbuscular mycorrhizas. *New Phytol*., 95: 247-261.

Hamel C., Barrantes-Cartin U., Furlan V. and Smith D. L. (1991 a). Endomycorrhizal fungi in nitrogen transfer from soybean to maize. *Plant and Soil* 138: 33-40.

Hamel C., Nesser C., Barrantes-Cartin U. and Smith D. L. (1991 b). Endomycorrhizal fungal species mediate ^{15}N from soybean to maize in non-fumigated soil. *Plant and Soil*, 138:41-47.

Harley J.L. (1978). Nutrient absorption by ectomycorrhizas. *Physiol. Veg.*, 16, 533-545.

Harley J.L., Mc Cready C.C. (1952). Uptake of phosphate by escised mycorrhizas of the beech. II. Distribution of phosphate between host and fungus. *New Phytol.*, 51, 56-64.

Harley J.L., Smith S.E. (1983). Mycorhgizal symbiosis. Academic Press, New York and London. UK.

Henry L. (1991). Lutte génétique contre les parasites des cultures maraîchères sous abris. Pyhtoma – La défense des végétaux – N° 428 – Mai 1991.

Hervé S. (1994). La protection des cultures, agriculture d'aujourd'hui, édition Lavoisier ; Sciences et Techniques d'applications ; 351p.

INRA. 1998. http://www.inra.fr/Internet/produits/HYPPZ/pa.htm

ISRA. 1999. Rapport annuel de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole. ISRA, DAKAR. 62p.

Johansen A., Jakobsen I. and Jensen E. S. (1993). External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 3. Hyphal transport of ^{32}P and ^{15}N. *New Phytologist*, 124: 61-68.

Kane A. (1997). Effets des fongicides (Basmid, Cryptonol, Enzone) et des endomycorhizes sur la croissance et le développement de deux variétés d'oignon (Red créole et Early Yellow Texas Grano 502 PRR) cultivées sur un sol infesté par *Pyrenochaeta territris* au Nord-Ouest du sénégal.

Lambert D. H., Baker D. E. and Cole H. (1979). The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements. *Soil Science Society of America Journal*. 43: 976-980.

Le Tacon F., Skinner F. A. and Mosse B. (1983). Spore germination and hyphal growth of a vesicular arbuscular fungus, *Glomus mosseae*, under decreased oxygen and increased carbon dioxide concentrations. *Can. J. Microbial*., 29: 1280-1285.

Linderman R. G. (1992). Vesicular arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions, dans *Mycorrhizae in substainable Agriculture*, G., J. Bethlenfalvay et R. G. Lindermman (éds), ASA special publication n°24, Madison, Wiscousin, pp. 45-70.

Marschner H. and Dell B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 165: 261-274.

Miller R. M. and Jastrow J. D. (1992 a). the role of mycorrhizal fungi in soil conservation, dans *Mycorrhizae in sustainable Agriculture*, G. J. Bethenfalvay et R. G. Linderman (éds), ASA special publication n°24, Madison, Wiscousin, USA, pp. 29-44.

Moreau B. (1997). Protection phytosanitaire des légumes et petits fruits. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et des Légumes (C.T.I.F.L.) ; 507p.

Mosse B. (1977). The role of mycorrhize in legume nutrition on marginal soils. *In: Exploiting the legume rhizobium symbiosis in tropical agriculture*, Vincent J.M., Whitney A.S., Bosc J., eds. University of hawaï, U.S.A. Misc. Pub. 145, 275-292.

National academy of Science. (1987). Regulating pesticide in food – The Delaney paradox : Nat. Acad. Press, Washington DC.

Neumann E. and George E. (2004). Colonization with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (Nicol. And Gerd.) enhanced phosphorus uptake from dry soil in *Sorghum bicolour* (L.). *Plant and Soil*, 261: 245-255.

Ngom Mb. (1992). Contribution à la connaissance de l'utilisation des pesticides au Sénégal : enquête auprès de 146 maraîchers dans la zone des niayes. Thèse pharma. Dakar.

Olivier B., Bertheau Y., Diem H.G. et Gianinazzi-Pearson V. (1983). Influence de la variété dans l'expression de trios associations endomycorhiziennes à vésicules et à arbuscules. Canadian journal of Botany, 61 : 354-358.

PAN/CTA. (1990). Pesticides et agricultures tropicales. Dangers et alternatives. Pays – Bas Pan – Cta, 281 pages.

Parke J. L., Linderman R.G., and Trappe J. M. (1983). Effect of root zone temperature on ectomycorrhiza and vesicular-arbuscular mycorrhiza formation in disturbed and undisturbed forest soils of southwest Oregon. *Can. J. For. Res.*, 13: 657-665.

Peyronel B., Fassi B., Fontana A., Trappe J.M. (1969). Terminology of mycorrhizae. *Mycologia*, 61, 410-411.

Plenchette C., Furlan V., Fortin J.A. (1983a). Responses of endomycorrhizal plants growth in a clacined montmorrillonite clay to different levels of soluble phosphorus. II. Effect of nutrient uptake. Can. J. Bot., 1384-1391.

Safie G. R. and Nelsen C. E. (1985). VA mycorrhizas: plant and fungal water relations. Pages 161-164 in: Proc. 6th N. Amer. Conf. On Mycorrhizae, June 25-29, 1984, Bend, OR. 471pp.

Schenck N.C., Kellam M.K. (1978). The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on disease development. Fla. Agric. Exp. Stn. Bull. 799.

Schoenbeck F. (1979). Endomycorrhiza in relation to plant diseases. *In: Soil-borne plant pathogens,* eds. Schippers B., Gams W., Academic Press, New York, 271-280.

Schoenbeck F. (1980). Endomychorrhiza: Ecology, Function and phytopathologyca aspects. *Forum Microbiol* 3: 90-96.

Sikora R.A., Schoenbeck F. (1975). Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza (*Endogone mosseae*) on population dynamics of the root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne halpa*). VIII Int. Congr. Plant. Protec. Moscou. 5: 158.

Smith S.E. and Gianinazzi-Pearson V. (1988). Physiological interactions between symbiots in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. Annu. Rev. Plant Physiol., 39 221-224.

Strullu D.G., Gouret J.P. and Garrec J.P. (1981). Microanalyse des granules vacuolaires des ectomycorhizes, endomycorhizes et endomycothalles. *Physiologie végétale* 19 :367-378.

Strullu D.G., Grellier B., Garrec J.P., Mac Cready C.C., Harley J.L. (1986)b. An experimental study of the effect on monovalent and divalent cations on phosphate absorption by beech mycorrhizas. *New Phytol*., 103, 403-416.

Strullu D.G., Perrin R., Plenchette C., Garbaye J. (1991). Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées. Lavoisier, Paris, 256p.

Sutton J. C. and Sheppard B. R. (1976). Aggregation of sand-dune soil by endomycorrhizal fungi. *Can. J. Bot*., 237: 59-60.

Sylvia D. M. and Williams S. E. (1992). Vesicular arbuscular mycorrhizal and Environmental stress. In *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*; Bethlenfalvay G. J., Linderman R. G. Eds., *American Society of Agronomy*: Madison, WI, 1992; 101-124.

Tinker P. B. H. (1984). The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant and Soil*, 76: 77-91.

Tisdall J. M. and Oades J. M. (1979). Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil. Res*., 19: 429-441.

Van der Heijden M. G. A., Klironomos J. N., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A. and Sanders I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature 396, 69–72.

Diop T.A., Plenchette C., Strullu D.G., Gueye M. and Dreyfus B.L. (1994). Les acacias du Sahel, un espoir pour l'agriculture. La Recherche, 269. 1045-1048.

Sieverding E. (1991). Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, 371pp

Diop T.A. (1996). Les mycorhizes à vésicules et arbuscules. J. Fac. Sci. (Dakar) B1 (2).

Tinker P.B.H. (1978). Effects of vesicular arbuscular mycorrhizas on plant nutrition and growth. *Physiol Vé.,* 16: 743-751.

Ortas I. **(1996).** The influence of use of different rates of mycorrhizal inoculation on root infection, plant growth, and phosphorus uptake. Communications in soil science and plant analysis. 27 (18-20): 2935-2946.

George L., Bapat V.A. and Rao P.S. (1987). *In vitro* multiplication of sesame (*Sesamum indium* L.) through tissue culture. *Ann. Bot*. 60: 17-21

Daft M. et El-Giahmi A.A. (1976). *Ann. Appl. Biol.* 83: 405.

Mosse B. (1981). Vesicular arbuscular mycorrhizal researh, Research bulletin 194, Hawaï, p. 81.

Parvathi K. R., Venkateswarlu K., Rao A.S. (1985). Proc. Indian Acad. Sci. (Plant Sci.) 95: 35.

Ocampo, J.A. et Hayman D.S. (1980). Effects of pesticides on mycorrhiza in field-grown barley, maize and potatoes, *Trans. Br. Mycol. Soc*., 74: 413-416.

Pope P.E. et Holt H.A. (1981). Paraquat influences, development and efficacy of the mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatus, can ; J. Bot*., 59: 518-521.

Nemec S. et Tucker D. (1983). Effects of herbicides on endomycorrhizal fungi in Florida citrus (*Citrus* spp.) soils, *Weed Sci.,* 31: 427-431;

Sieverding E. et Leihner D.E. (1984). Effect of herbicides on population dynamics of VA-mycorrhizae with cassava, *Angew. Botanik*, 58: 283-294.

González-Chávez C. et Ferrera-Cerrato R. (1987). Efecto del captán y la endomicorriza (VA) sobre el desarrollo de fresa proveniente del cultivo *in vitro, rev. Lat-amer. Microbiol.,* 29: 193-199.

Perrin R. Et Plenchette C. (1993). Effect of some fungicides applied as soil drenches on the mycorrhizal infectivity of two cultivated soils and their receptiveness to *Glomus intraradices, Crop Protection*, 12: 127-133.

Veeraswamy J., padmavathi T. et Venkateswarlu K. (1993). Effect of selected insecticides on plant growth and mycorrhizal development in sorghum, *Agric. Ecosystems Environ.,* 43: 337-343.

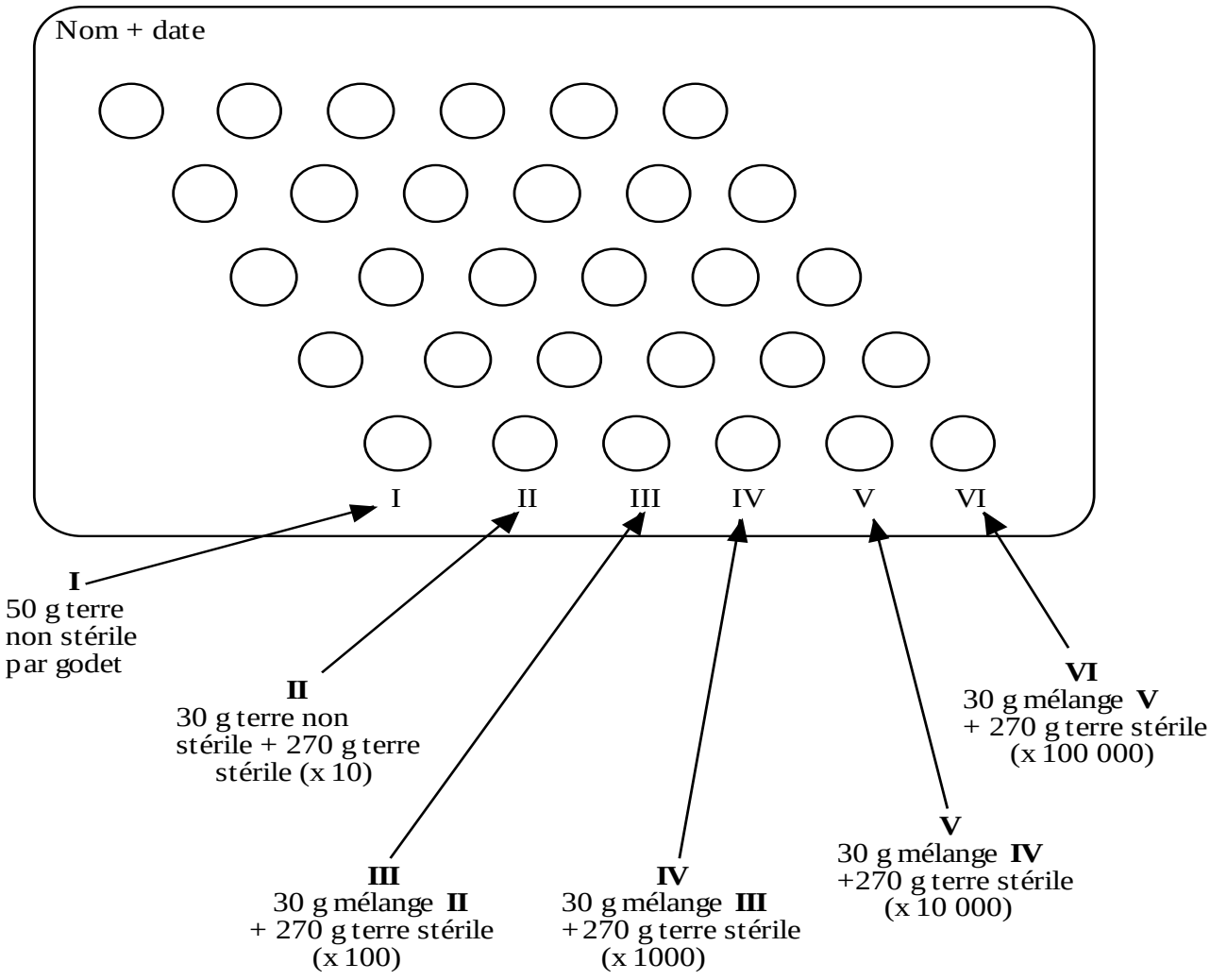
Menge J.A. (1982). Effect of soil fumigants and fungicides on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *Phytopathology,* 72: 1125-1132.

Kucey R. M. N and Paul E. A. (1983). Vesicular arbuscular mycorrhizal spore populations in various Saskatchewan soils and the effect of inoculation with *Glomus mosseae* on faba bean growth in greenhouse and field trials. *Can. J. Soil Sci,* 63: 87-95.

Annexes

Annexe 1

Dispositif expérimental MPN



Annexe 2

Table 1 de Cochran

MOST-PROBABLE-NUMBER METHOD FOR MICROBIAL COUNT

Table 100-1. Table of most probable numbers for use with 10-fold dilutions and 5 tubes per dilution (Cochran. 1950).

P_1	P_2	Most probale number for indicated values of P_3					
		0	1	2	3	4	5
0	0	-	0.019	0.036	0.054	0.072	0.090
0	1	0.019	0.036	0.055	0.073	0.091	0.11
0	2	0.037	0.055	0.074	0.092	0.11	0.10
0	3	0.056	0.074	0.093	0.11	0.13	0.15
0	4	0.075	0.094	0.11	0.13	0.15	0.17
0	5	0.094	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
1	0	0.020	0.040	0.060	0.090	0.10	0.12
1	1	0.040	0.061	0.081	0.10	0.12	0.14
1	2	0.061	0.082	0.10	0.12	0.15	0.17
1	3	0.093	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19
1	4	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22
1	5	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
2	0	0.045	0.068	0.091	0.12	0.14	0.16
2	1	0.068	0.092	0.12	0.14	0.17	0.19
2	2	0.093	0.12	0.14	0.17	0.19	0.22
2	3	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.25
2	4	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.29
2	5	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32
3	0	0.078	0.11	0.13	0.16	0.20	0.23
3	1	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27
3	2	0.14	0.17	0.20	0.24	0.27	0.31
3	3	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.35
3	4	0.21	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40
3	5	0.25	0.29	0.32	0.37	0.41	0.45
4	0	0.13	0.17	0.21	0.25	0.30	0.36
4	1	0.17	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42
4	2	0.22	0.26	0.32	0.38	0.44	0.50
4	3	0.27	0.33	0.39	0.45	0.52	0.59
4	4	0.34	0.40	0.47	0.54	0.62	0.69
4	5	0.41	0.48	0.56	0.64	0.72	0.81
5	0	0.23	0.31	0.43	0.58	0.76	0.95
5	1	0.33	0.46	0.64	0.84	1.1	1.3
5	2	0.49	0.70	0.95	1.2	1.5	1.8
5	3	0.79	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5
5	4	1.3	1.7	2.2	2.8	3.5	4.3
5	5	2.4	3.5	5.4	9.2	16	-

Annexe 3

Table 2 de Cochran

Table 100-2. Factors for calculating the confidence limits for the most-probable number count (Cochran. 1950).

N° of tubes per dilution	Factor for 95 % confidence limits with indicated dilution ratios			
(n)	2	4	5	10
1	4.00	7.14	5.32	14.45
2	2.57	4.20	4.47	5.81
3	2.23	2.10	3.39	4.88
4	2.00	2.89	2.38	3.80
5	1.85	2.41	2.59	3.30
6	1.76	2.23	2.39	2.93
7	1.59	2.10	2.23	2.74
8	1.54	2.00	2.12	2.57
9	1.53	1.92	2.02	2.43
10	1.53	1.96	1.95	2.32

Annexe 4

SOLUTION MINERALE DE LONG ASHTON (HEWITT, 1966)

	L.A
Macroéléments	**mg/l**
KNO_3	400
$K2SO_4$	350
Ca $(NO_3).4H_2O$	900
$NaH_2PO_4.H_2O$	200
$MgSO_4.7H_2O$	500
Oligoéléments	**mg/l**
$MnSO_4$	2,5
$CuSO_4.7H_2O$	0,25
$ZnSO_4.7H_2O$	0,3
H_3BO_3	3,0
NaCl	5,0
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	5 ml/100L
EDTA-Fe (13%) (11g/l)	4 ml