

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**cm**= centimètre

**DPV**= Direction de la Protection des Végétaux

**g**= gramme

**Ha**= hectare

**JAR**=jour après repiquage

**Kg**= kilogramme

**L**=litre

**m<sup>2</sup>**= mètre carré

**NPK**= Azote Phosphore Potassium

**PE**= parcelle élémentaire

**pH**= potentiel hydrogène

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Morphologie <i>Meloidogyne spp.</i> (De Guiran & Netscher, 1970). .....	11
Figure 2 : Cycle de développement de <i>Meloidogyne spp.</i> .....	13
Figure 3 : Carte de la région de Dakar montrant l'emplacement de la DPV .....	23
Figure 4: Dispositif expérimental de l'essai.....	26
Figure 5: Evolution de la densité de <i>Meloidogyne</i> (nombre d'individus / kg de sol) en fonction du temps pour chaque traitement .....	32
Figure 6 : Evolution de l'incidence de l'infestation due à <i>Meloidogyne</i> (IG) sur l'aubergine selon le traitement .....	33
Figure 7: Evolution de la sévérité de l'infestation due à <i>Meloidogyne</i> (IG) sur l'aubergine selon le traitement .....	34
Figure 8: Production totale d'aubergine sur chacun des traitements .....	34

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Culture de <i>Datura metel</i> .....	19
Photo 2 : Pépinière d'aubergine douce.....	25

## LISTE DES PLANCHES

Planche 1 : Plante d'aubergine : Fleur d'aubergine (A). Jeune fruit (B) d'aubergine ( <i>Solanum melongena</i> ) (photos : Aminata DIEME). .....	5
Planche 2: Diversité des formes, tailles et couleurs des fruits d'aubergine.....	6
Planche 3: Symptômes causées par les nématodes à galles <i>Meloidogyne javanica</i> : sur les parties aériennes de tomates (A) et sur les racines de tomate (B) 4 mois après l'infection. ....	16
Planche 4 : préparation de la poudre de <i>Datura metel</i> . .....	24
Planche 5 : repiquage des plants d'aubergine (photos : Aminata DIEME) .....	27
Planche 6 : Formulation 1 kg du Savanem ( <i>Mocap</i> 10G) (A), pesage des granulés du <i>Mocap</i> 10G (B). .....	28
Planche 7 : Echantillonnage du sol (A), mise en sachet de l'échantillon composite (B) (Photos : Aminata DIEME). .....	28

Planche 8: extraction des nématodes du sol .....	29
Planche 9: suspension récupérée dans le tube à essai (A), identification et estimation des <i>Meloidogynes</i> (B) (Photos : Aminata DIEME).....	30

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : La systématique des nématodes à galles <i>Meloidogyne javanica</i> (Mukhaimar, 2015).....	<b>12</b>
Tableau 2 : Système de notation des indices de galles pour estimer les dégâts dus aux nématodes à galles du genre <i>Meloidogyne</i> (selon Netscher et Sikora, 1990) .....	15

## SOMMAIRE

DEDICACES .....	I
REMERCIEMENTS .....	II
RESUME.....	III
ABSTRACT .....	IV
LISTE DES ABREVIATIONS .....	V
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES PHOTOS .....	VI
LISTE DES PLANCHES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
SOMMAIRE .....	VIII
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....	3
1.Généralités sur l'aubergine douce .....	3
1.1.Origine et historique.....	3
1.2.Place dans la systématique .....	3
1.3.Description botanique .....	4
1.4.Variétés d'aubergine .....	5
1.5.Usage alimentaire du fruit.....	7
1.6.Mode de culture, récolte et conservation .....	7
2.Ennemis de l'aubergine douce .....	8
3.Nématodes phytoparasites.....	9
3.1.Morphologie du genre <i>Meloidogyne</i> .....	9
3.2.Position systématique.....	11
3.3.Modes de reproduction.....	12
3.4.Cycle de développement .....	12
3.5.Techniques de détection des nématodes à galles .....	13
3.6.Dégâts des nématodes à galles .....	14
3.7.Symptômes causés par les nématodes à galles.....	15
4.Méthodes de contrôle : les plantes nématicides .....	16

5.Datura metel .....	18
5.1.Description et Systématique.....	18
5.1.1Description .....	18
5.1.2. Systématique .....	<b>19</b>
5.2.Composition chimique .....	19
5.3.Différentes espèces de <i>Datura</i> .....	19
5.4.Usages agricoles de <i>Datura</i> .....	20
6.Cendre de charbon.....	21
6.1.Composition de la cendre .....	21
6.2.Utilisation de la cendre en agriculture.....	22
<b>DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>23</b>
1.Présentation du site d'étude.....	23
2.Matériel biologique .....	24
3.Méthodes .....	25
3.1.Pépinière.....	25
3.2.Dispositif experimental et suivi de la culture .....	25
3.3.Repiquage.....	27
3.4.Les traitements .....	27
4.Analyses nématologiques.....	28
4.1.Echantillonnage sol .....	28
4.2.Extraction des nématodes du sol .....	28
4.3. Identification et comptage de nématode du genre <i>Meloidogyne</i> .....	29
5.Détermination de l'incidence et de la sévérité de l'infestation de <i>Meloidogyne</i> .....	30
6.Détermination de la production d'aubergine.....	31
7.Analyses statistiques .....	31
<b>TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>32</b>
1.Résultats .....	32
1.1.Densité de <i>Meloidogyne</i> dans le sol.....	32

1.2.Incidence et sévérité d'infestations due à <i>Meloidogyne</i> .....	32
1.2.2Sévérité de l'infestation.....	33
1.3.Production .....	34
2.Discussion .....	35
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>37</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>38</b>
<b>ANNEXE 1 : Présentation de la DPV .....</b>	<b>41</b>
<b>ANNEXE 2 : Détermination de l'indice de galle .....</b>	<b>42</b>
<b>ANNEXE 3 : Détails des analyses statistiques .....</b>	<b>43</b>

## INTRODUCTION

L'agriculture est l'un des principaux secteurs d'activités qui contribuent au développement socioéconomique des populations. Elle emploie plus de 40 % de la population active (Yarou *et al.*, 2017). Dans ce secteur, le maraichage occupe une place importante pour l'alimentation humaine. Définie comme une agriculture fortement spécialisée, le maraichage constitue l'un des systèmes agricoles les plus productifs d'Afrique. Considérée comme une activité de souveraineté alimentaire, les cultures maraichères jouent un rôle primordial dans la plupart des programmes de nutrition, de lutte contre la pauvreté et contribuent significativement aux revenus des familles (Yarou *et al.*, 2017). L'aubergine douce, *Solanum melongena* L. figure parmi les légumes les plus cultivés. Celle-ci est un légume-fruit comestible comme plante maraichère produit par l'espèce *Solanum melongena*, appartenant à la famille des solanacées et occupant une place importante dans l'alimentation humaine car faisant parti des dix légumes les plus consommés par la majorité des humains. Le terme désigne également le légume lui-même, aubergine, un nom de couleur utilisé pour désigner une couleur violet sombre, d'après la couleur de la peau d'une variété courante d'aubergine. Sa culture, possible dans des climats très variés (tempérés, tropical sec ou humide), est cependant limitée par de nombreux parasites et maladies qui affectent les rendements et les opérations post-récoltes qui en découlent.

La pression des bioagresseurs tels que les nématodes phytoparasites du genre *meloidogyne* a été identifiée comme l'une des contraintes majeures du fait des pertes considérables de récoltes infligées aux maraichers (Duponnois *et al.*, 1997). Les espèces de ce genre, très polyphages, sont présentes sous des latitudes et des climats très divers. Elles sont très répandues en Afrique de l'Ouest mais c'est dans deux pays sahéliens, le Sénégal et le Burkina Faso, que la nématofaune parasite des cultures maraichères a été la plus étudiée (Diop & Konaté, 2000).

Ainsi, dans le souci de pallier à ces contraintes et d'améliorer les rendements et répondre à la demande des marchés sans cesse croissante et aux besoins alimentaires, les maraichers ont recours à des pesticides chimiques, dont l'utilisation est souvent abusive (Kanda *et al.*, 2006). Cette forme d'utilisation de ces produits chimiques en agriculture pose cependant de nombreux problèmes dont les plus importants sont la toxicité vis-à-vis de l'homme, l'atteinte de la biodiversité, les déséquilibres de la faune et la résistance des cibles visées (Sougnabé *et al.*, 2010). Dès lors, il serait judicieux de chercher des alternatives pour réduire l'utilisation des produits chimiques. Pour cela, l'utilisation de molécules organiques

ou de produits biologiques entre autres pour contrôler les nématodes *Meloidogyne* pourrait constituer un levier important dans la réduction des produits chimiques. Ainsi la poudre de *Datura metel*, à cause de sa courte rémanence, offre une stratégie alternative intéressante pour une meilleure gestion des nématodes. Notre étude s'inscrit dans ce cadre dont l'objectif général est de contribuer à l'augmentation de la production légumière du Sénégal en réduisant les pertes dues aux nématodes sur culture d'aubergine et l'usage des produits chimiques.

L'objectif spécifique est de tester l'efficacité nématicide d'un mélange de poudre de *Datura metel* et de cendre de charbon et de le comparer avec un nématicide de référence actuellement commercialisée dans la zone sahélienne : le Savanem ou Mocap 10G (Ethoprophos 100g/Kg).

# PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1. Généralités sur l'aubergine douce

### 1.1. Origine et historique

*Solanum melongena* L. communément appelé *batagnésé en wolof* au Sénégal est originaire d'Asie. L'Inde et l'Indochine sont le centre de diversification primaire et la Chine est probablement le centre de diversification secondaire. L'aubergine se connaît en Inde depuis le III<sup>e</sup> siècle avant J.-C. et elle a été cultivée pour plus de 1500 ans en Asie. L'Inde est la source des cultivars à gros fruits (exploités maintenant partout dans le monde), tandis que la culture des cultivars à petits fruits a débuté au IV<sup>e</sup> siècle en Chine et au IX<sup>e</sup> siècle en Afrique. De son centre d'origine et de domestication indochinois, l'aubergine a été transportée en Afrique du Nord et la péninsule Ibérique par les Arabes avant le Xe siècle. « melongena » était un nom arabe donné à l'un des cultivars des aubergines (Boubekri, 2014).

Les Arabes ont ensuite transporté l'aubergine de la Perse et peut-être de la péninsule arabique à la Méditerranée. Des manuscrits de cuisine arabe du moyen âge comprennent beaucoup de recettes. L'aubergine a été traitée avec suspicion au premier mais bientôt il est devenu un légume favorable. La Sicile a été l'une des premiers endroits en Europe où l'aubergine était cultivée après avoir été introduite par les paysans arabes. Elle a été cultivée en Espagne au Xe siècle (Boubekri, 2014).

L'aubergine est un légume fruit important du point de vue économique et traditionnel dans les pays méditerranéens et en Asie (de l'Inde à la Chine). On la rencontre aussi en Amérique et en Afrique (Daunay & Dalmaso, 1985).

### 1.2. Place dans la systématique

Suivant la classification de Cronquist (1988), nous avons la systématique suivante :

Règne	: Plantae
Sous-règne	: Tracheobionta
Embranchement	: Magnoliophyta
Classe	: Magnoliopsida (Dicotylédones)
Sous-classe	: Asteridae (Gamopétales)
Ordre	: Solanales

Famille	: Solanaceae
Genre	: <u>Solanum</u>
Sous-genre	: Leptostemonum
Espèce	: <u>Solanum melongena L.</u>

### 1.3. Description botanique

L'aubergine est une plante annuelle sous les climats tempérés, elle est à la fois consommée en tant que légume frais, mais également séchée et stockée pour une utilisation ultérieure en Turquie et dans d'autres pays (Doğan *et al.*, 2002). L'aubergine présente une racine annuelle d'où s'élève une tige herbacée, rameuse, haute d'un pied et plus, cylindrique, un peu pulvérulente, offrant les aiguillons simples, courts, assez éloignés les uns des autres. Les feuilles sont alternes, pétiolées, ovales, aiguës, sinueuses sur les bords, pubescentes, pétioles cylindrique, pulvérulent, épineux inférieurement (Boubekri, 2014).

Les fleurs sont très grandes (Planche 1), violacées, solitaires, pédonculées, opposées aux feuilles, ayant souvent un certain nombre de parties surajoutées ; le pédoncule est d'environ un pouce, pulvérulent et épineux. Le calice est campaniforme, pulvérulent et épineux offrant six ou huit divisions linéaires, la corolle est rotacée, un peu plissée, avec des divisions presque triangulaires, aiguës, en nombre égale à celui des divisions calicinales. Les étamines sont au nombre de six à huit dans les individus cultivés (Boubekri, 2014).

Les fruits (Planche 1) sont de forme variable, subglobuleuse à ovoïde ou allongée, ou piriforme, lustrée, généralement pourpre noir, parfois blanche, pourpre ou jaunâtre, atteignant 30 cm de longueur. Graines nombreuses, petites, brun pâle, comprimées, sub-réniformes, longues de  $\pm 3$  mm, finement rugueuses (Boubekri, 2014).

L'aubergine appartient à la même famille botanique que la tomate et le poivron et a les mêmes exigences culturales. Elle est peu énergétique (20kcal/100 g), riche en fibres, elle contient aussi des vitamines A, B1, B2, B5, C, PP, et des sels minéraux en particulier du potassium, du calcium, du fer, du manganèse, du phosphore, du magnésium. Le fruit charnu de cette plante de taille, de forme et de couleur variables est très utilisé dans la cuisine méditerranéenne, asiatique ou indienne.



**Planche 1** : Plante d'aubergine : Fleur d'aubergine (A). Jeune fruit (B) d'aubergine (*Solanum melongena*) (photos : Aminata DIEME).

#### 1.4. Variétés d'aubergine

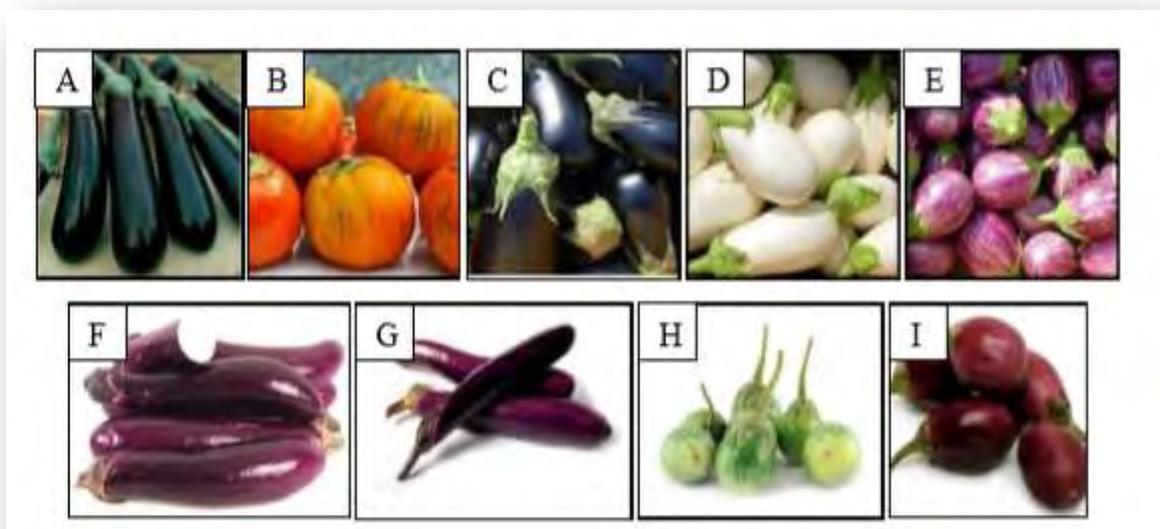
Les variétés d'aubergines représentées sont de formes et de couleurs différentes (Planche 2).

- **Aubergines violettes pourpres** (aubergines occidentaux) : elles sont typiques de l'Amérique et de l'Europe mais elles ont été introduites en Asie. Les plantes sont moins vigoureuses mais très productives. Cette espèce a deux formes de base; la forme ovale et la forme allongée. Elles sont généralement de grande taille (200-600 g).
- **Aubergines miniatures** (italiennes) : Elles sont de quelques centimètres de longs, violettes ou blanches, étroites ou arrondies. Elles sont généralement plus douces et plus tendres que les variétés les plus grandes et elles possèdent une peau plus mince et contiennent moins de graines.
- **Aubergines orientales** : Elles sont originaires d'Asie tropicale. Elles sont très populaires au Japon, en Chine, en Inde, en Thaïlande et en Philippines. Les plantes sont précoces et énergiques. Les fruits pourraient être de couleurs pourpres, verts violets, lavandes, blanches, avec ou sans rayures, de formes rondes ou minces. On peut citer :
  - ✓ Aubergines chinoises, généralement longues, violettes pourpres, contiennent moins de graines.
  - ✓ Aubergines japonaises, elles sont plus fermes et plus lourde, violettes pourpres, en forme ovoïde ou en forme allongée.

- ✓ Aubergines thaïlandaises, elles sont rondes et petites comme les tomates (40-80 g) ou très allongée (10 pouces, environ 100-200 g) de couleurs vertes ou blanches avec des rayures vertes.
- ✓ Aubergines indiennes, elles sont ovales, petites (30-100 g), de couleurs rouges pourpres, ou moyennes (200-300 g) violet foncé.

Dans le bassin méditerranéen, à l'exception de quelques zones de culture très intensives, les variétés cultivées sont encore souvent des populations locales ou des variétés fixées. Les typologies principales sont les fruits longs cylindriques pourpres plus ou moins foncés et les variétés à fruits globuleux, plus ou moins gros et foncés. Mais on trouve aussi dans certaines régions très localisées, des fruits blancs, mauves ou striés et de différentes formes.

Actuellement, seuls quelques variétés populaires sont présentes dans le commerce mondial cela est dû à la baisse de la diversité variétale d'aubergine dans le monde, mais plusieurs régions d'Asie sont riches en certain nombre de variétés. On trouve plusieurs variétés locales et patrimoniales dans les Philippines, en Chine méridionale, en Asie du Sud et en Inde (Boubekri, 2014).



**Planche 2:** Diversité des formes, tailles et couleurs des fruits d'aubergine. *Aubergines allongées (A)*. *Aubergines rondes (B)*. *Aubergines miniatures (C)*. *Aubergines blanches (D)*. *Aubergines graffiti (E)*. *Aubergines chinoises (F)*. *Aubergines japonaises (G)*. *Aubergines thaïlandaises (H)*. *Aubergines indiennes (I)*.

### **1.5. Usage alimentaire du fruit**

Le fruit immature de l'aubergine est consommé lorsqu'il a une couleur agréable, qu'il est brillant et que les graines sont encore immatures. À maturité, la pulpe du fruit est fibreuse et amère et les graines sont dures, elle a une texture fine et un goût proche de celui des champignons, mais le goût peut parfois être un peu plus fort ou même assez amer. L'immense inconvénient des aubergines, c'est qu'elles se comportent exactement comme des éponges si elles baignent dans du gras. Les cellules d'une aubergine fraîche ont une teneur très élevée en air qui s'échappe lorsque l'aubergine est chauffée. Quand vous faites cuire l'aubergine dans l'huile, l'air s'échappe et les cellules absorbent une grande quantité d'huile.

L'aubergine est délicieuse chaude ou froide. Elle peut être farcie, grillée, gratinée, en casserole, en brochettes ou réduite en purée. On l'accompagne de tomates, d'ail et d'huile d'olive. Certaines variétés orientales se mangent crues, en salade. Elle se consomme volontiers avec la peau : il suffit de la laver sous l'eau courante et de lui couper ces deux extrémités. Pour éviter que sa chair noircisse, asperger-la de jus de citron. Elle se garde pendant une semaine dans le bas du réfrigérateur (Boubekri, 2014).

### **1.6. Mode de culture, récolte et conservation**

L'aubergine se multiplie par des graines qui sont semées d'abord en pépinières pour produire des plantules transplantées en champ 6 à 10 semaines après le semis aux écartements de 50 x 50 cm. Elle préfère un sol profond, fertile et riche en humus, un sol frais et humide. Elle a besoin de beaucoup de soleil et de température élevée. Une fois repiqué, sa culture consiste en arrosages fréquents. Quand les fruits sont noués, on taille la plante pour ne lui en laisser que le nombre qu'elle peut facilement nourrir. Comme la tomate ou le poivron, la culture d'aubergine se fait traditionnellement en plein champ. Mais depuis une dizaine d'année, on trouve des cultures d'aubergine sous abri avec des techniques de palissage et de pincement spécifique.

Les aubergines se récoltent une fois complètement formées et avant que leurs graines aient commencé à changer de couleur. Les récoltes sont successives et à la main au fur et à mesure de la maturation des fruits. Les fruits parvenus à maturité sont fermes, lourds et chatoyants, ils sont réfrigérés et entreposés à une température de 10 à 12°C et à 95% d'humidité. Lors de l'inspection visuelle de l'aubergine, la couleur de la peau doit être vive, brillante, sans décoloration et sans cicatrices qui indiquent habituellement que la chair est endommagée et peut-être pourrie. La tige et le bouchon à l'extrémité de l'aubergine doivent

aussi être sans décoloration. Pour tester la maturité d'une aubergine, appuyez doucement sur la peau avec le tampon de votre pouce, si elle revient l'aubergine est mûre. Les fruits des aubergines sont en fait très périssables, étant sensible à la chaleur et le froid. Conservez le fruit entier dans un sac en plastique et le ranger dans le réfrigérateur. Si vous coupez l'aubergine avant de la ranger, elle se désintègre rapidement. Une fois cuites, les aubergines peuvent être stockées dans le réfrigérateur jusqu'à trois jours. Vous pouvez aussi envelopper le fruit de l'aubergine non lavé dans une serviette (pas en plastique) pour absorber l'humidité et la conserver dans le bac à légumes de votre réfrigérateur pendant une semaine, il devrait encore être frais et doux (Boubekri, 2014).

## 2. Ennemis de l'aubergine douce

Les maladies et ravageurs de l'aubergine sont proches de ceux de la tomate, sachant que l'aubergine est plus rustique, notamment les cultivars locaux. Selon les climats et conditions de culture, les principaux ravageurs et maladies sont :

- ✓ Les maladies cryptogamiques : flétrissement verticillien, anthracnose, mildiou, divers phytophthora, pourriture du collet, rouille de l'aubergine (*aecidium habunguense*), etc;
- ✓ les parasites : acariens, pucerons, mineuses dont tuta absoluta, nématodes à galles, le doryphore dans les climats tempérés, les punaises et les noctuelles...
- ✓ Moins fréquentes sont les maladies bactériennes (maladie du flétrissement) mais non moins graves, tels les phytoplasmes provoquant le jaunissement de la feuille puis la mort, et les maladies virales : virus mosaïque

En ce qui concerne les champignons aériens, notons la forte incidence des agents de cercosporiose, en particulier *Pseudocercospora egenula* sur aubergine.

*Phomopsis vexans*, champignon à pycnides, est un redoutable parasite de la tige de l'aubergine dont certains symptômes foliaires sont parfois confondus avec ceux du flétrissement bactérien.

Quelques nouveaux champignons, aux symptômes plutôt rares dans les cultures, ont été identifiés par exemple *Lasiodiplodia theobromae* sur fruit d'aubergine (Blancard *et al.*, 2012). Plusieurs ravageurs occasionnent des dégâts remettant parfois en cause la récolte de diverses cultures légumières : *Epithrix sp* sur aubergine (Blancard *et al.*, 2012).

La culture intensive de l'aubergine en régions tropicales humides pose un grave problème phytopathologique, lié à la présence de la bactérie tellurique *Pseudomonas solanacearum*. Ce parasite occasionne des flétrissements particulièrement graves lorsque la culture est répétée

sur des sols pauvres en calcaire et en matière organique, avec des températures supérieures à 21 °C et une humidité atmosphérique forte (Hébert, 1985).

### 3. Nématodes phytoparasites

Les nématodes phytoparasites constituent une menace réelle pour la production alimentaire mondiale et sont responsables des pertes de rendements à hauteur de 14% (Mukhaimar, 2015). La plupart des espèces de plantes cultivées sont sensibles aux nématodes, en particulier les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) qui attaquent et causent des dommages remarquables aux légumes (El-Deeb *et al.*, 2018). Les nématodes à galles sont de redoutables bio-agresseurs vivant dans le sol et la plupart du temps à l'intérieur des racines. Ce sont des vers microscopiques telluriques invisibles à l'œil nu (Djian-Caporalino *et al.*, 2009). Ces nématodes provoquent sur les racines des excroissances, dues à une hyperplasie et une hypertrophie des cellules. Dans ces galles, l'on rencontre de nombreux parasites femelles qui se transforment en énormes sacs ovigères contenant les œufs; ceux-ci sont ensuite libérés à l'extérieur et donnent naissance à de petits nématodes libres qui pénètrent dans les tissus sains des plantes et l'infection se multiplie (Mallamaire, 1965). De plus, ils ont une incidence économique très importante à l'échelle mondiale car ils sont largement répandues sur le globe et s'attaquent aussi bien aux grandes cultures, qu'aux cultures maraîchères, florales et fruitières (Djian-Caporalino *et al.*, 2009). Le genre *Meloidogyne* comprend plus de 90 espèces qui sont responsables d'environ 5% des pertes globale de rendement de la production alimentaire (Mukhaimar, 2015) Il est représenté essentiellement par les espèces *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica* et *M. hapla*, cette dernière espèce étant capable de parasiter toutes les variétés et plantes maraîchères résistantes aux autres espèces de *Meloidogyne* (Diop & Konate, 2000). Il faut aussi noter que *M. javanica* est l'espèce la plus fréquente et la plus abondante dans le monde, particulièrement dans les cultures maraîchères au Sénégal (Diop *et al.*, 2000).

#### 3.1. Morphologie du genre *Meloidogyne*

- Le juvénile de deuxième stade (J2)

Il est mince, vermiforme et représente le stade infestant (Figure 1). Il mesure environ 400 picomètre de long et 15 picomètre de large. Il a un stylet et un squelette céphalique faiblement scléreux. La queue est conique, d'une longueur comprise entre 45 et 59 picomètre selon l'espèce.

○ Le mâle

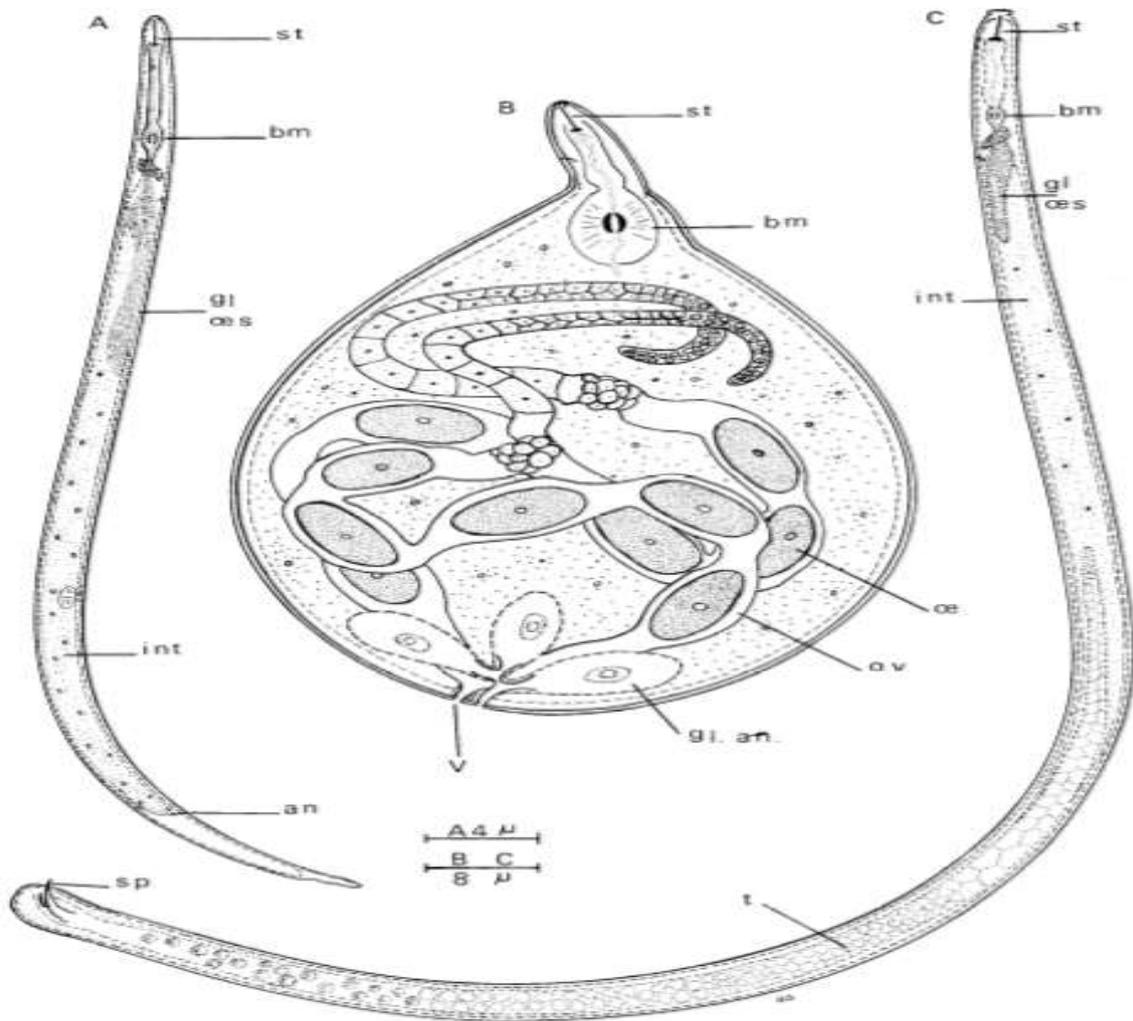
Le mâle est vermiforme et mesure 1 à 2 mm de long et 30 micromètre de large (Figure 1). Son stylet est robuste et de longueur variable selon les espèces. La queue est courte et hémisphérique comme chez tous les Tylenchides, l'appareil reproducteur se présente en une gonade tubulaire. Cette gonade comprend :

- une branche génitale ou testicule, divisée en une zone germinale et une zone de croissance.
- une vésicule séminale.
- un canal déférent glandulaire.

Les spicules sont robustes. Le bursa est absent Chez *M. arenaria* et *M. javanica*, ce sont les mâles intersexes (juvéniles mutants prédestinés à devenir des femelles) ayant deux branches génitales, qui sont les plus nombreux. Par contre, on peut rencontrer les deux types de mâles (mâles normaux et mâles intersexes) chez *M. incognita*.

○ La femelle

La femelle est piriforme à sphérique avec un diamètre compris entre 0,5 et 0,7 mm selon les espèces (Figure 1). Le pore excréteur est antérieur au bulbe médian et est souvent près du stylet. La vulve est subterminale et près de l'anus et la longueur du stylet est variable selon les espèces (Mateille & Mounport, 1994).



**Figure 1 :** Morphologie *Meloidogyne spp.* (De Guiran & Netscher, 1970).

A : larve de deuxième stade (stade libre) ; B : femelle adulte ; C : mâle adulte ; an. : anus ; bm : bulbe médian de l'œsophage ; gl. an. : glandes anales ; gl. aes. : glande basale de l'œsophage ; int. : intestin ; œ. : œuf ; ov. : ovaire ; sp. : spicules copulateurs ; st. : stylet ; t. : testicules ; v. : vulve.

### 3.2. Position systématique

Les nématodes à galles sont des animaux du phylum des Nématoda. La classification complète de l'espèce *Meloidogyne javanica* est décrite ci-dessous dans le tableau 1.

**Tableau 1** : La systématique des nématodes à galles *Meloidogyne javanica* (Mukhaimar, 2015).

Phylum	Nematoda (Cobb, 1919)
Classe	Secernentea (Von Linstow, 1905)
Sous-classe	Diplogasteria (Inglis, 1983)
Ordre	Tylenchida (Thorne, 1949)
Sous-ordre	Tylenchina (Thorne, 1949; Chitwood, 1950)
Super-famille	Hoplolaimidae (Filipjev, 1934)
Famille	Meloidogynidae (Scarbilovich, 1959)
Genre	<i>Meloidogyne</i> (Göldi, 1892)
Espèce	<i>M. javanica</i> (Treub, 1885; Chitwood, 1949)

### 3.3. Modes de reproduction

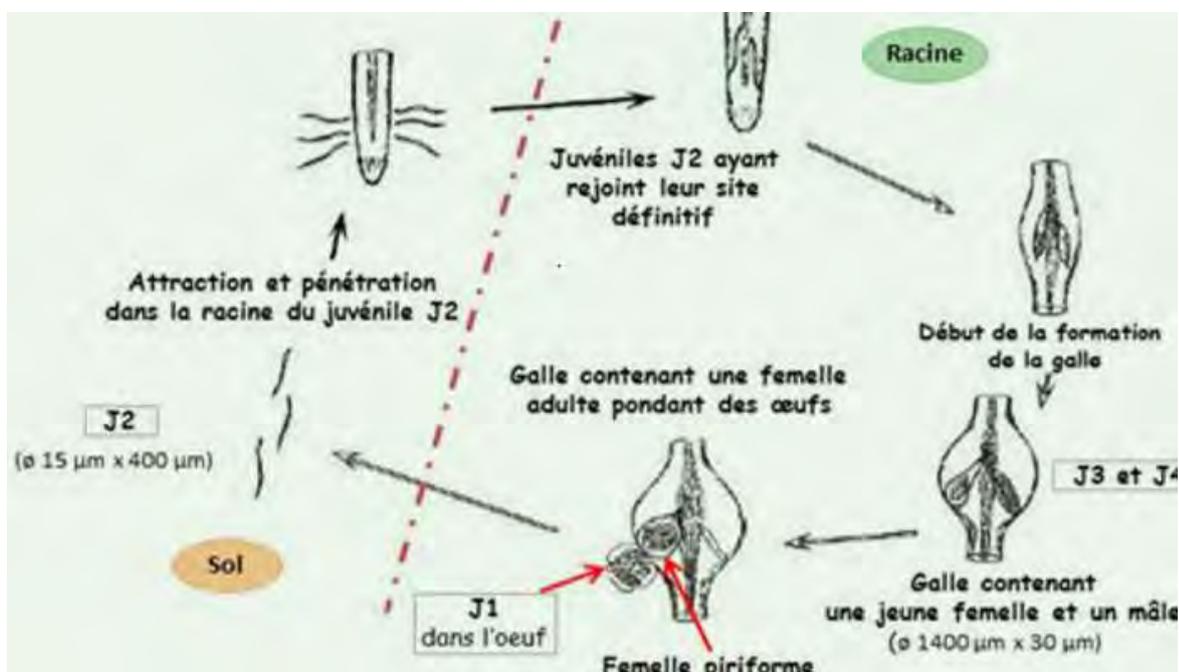
Il existe différentes modes de reproduction chez les nématodes à galles, incluant l'amphimixie, la sexualité facultative, l'automixie et l'apomixie. Certaines espèces du genre *Meloidogyne* se reproduisent par l'amphimixie obligatoire, telles que *M. carolinensis*, *M. megatyta*, et *M. microtyta*. Par contre, *M. incognita*, *M. javanica* et *M. arenaria* se reproduisent par parthogénèse mitotique (apomixie) uniquement. Chez *M. hapla*, il existe des souches qui diffèrent de mode de reproduction ; la souche A peut se reproduire soit par amphimixie soit par parthogénèse méiotique (automixie), alors que l'apomixie est obligatoire chez la souche B (Mukhaimar, 2015).

### 3.4. Cycle de développement

Les nématodes à galles (*Meloidogyne spp.*) sont des ravageurs particulièrement coriaces, ils sont très polyphages (cultures et adventices), et peuvent descendre profondément dans le sol, ce qui rend la lutte très difficile (Vedie, 2009). La durée de leur cycle est courte (3 à 8 semaines) et se déroule en 2 phases (Figure 2): une phase d'invasion racinaire au stade larvaire et une phase d'élaboration d'un site nourricier au niveau du cylindre central de la racine (où est véhiculée la sève) permettant l'établissement du parasite. Ce site nourricier induit par les sécrétions salivaires du nématode est constitué de 5 à 6 cellules hypertrophiées (cellules géantes) qui lui permettent d'accomplir son cycle sans avoir à se déplacer : ce sont des endoparasites sédentaires. Le cycle débute par la ponte à l'extérieur de la racine de 300 à 3000 œufs (Djian-Caporalino *et al.*, 2009). Ces œufs sont réunis en une masse dans une substance gélatineuse. Quelques heures après la ponte, un juvénile de premier stade (J1) se

développe dans l'œuf. Ce juvénile subit une première mue pour donner un juvénile de deuxième stade (J2). C'est ce dernier qui sera libéré lors de l'éclosion des œufs. À une température de 28°C, l'intervalle ponte-éclosion dure sept à neuf jours. Le juvénile J2 est le stade infestant, il se déplace dans le sol vers les racines sous l'action d'exsudats racinaires. Lorsqu'il rencontre une racine hôte, il y pénètre par les parties molles comme les apex (zones à intenses activités métaboliques). Il se nourrit pendant deux semaines et subit trois autres mues pour donner soit un mâle soit une femelle. Entre la deuxième et la troisième mue, il perd son stylet et ne se nourrit pas (Mateille & Mounport, 1994). Il faut noter que tous les œufs n'éclosent pas en même temps et peuvent résister au froid et à la sécheresse pendant plusieurs années (jusqu'à 5-6 ans). Néanmoins lorsque les températures sont basses, l'infestation se développe lentement. C'est le cas en culture «hivernale» de salade sous abri (Djian-Caporalino *et al.*, 2009).

Le déterminisme sexuel dépend largement des conditions du milieu. Lorsqu'elles sont défavorables, les juvéniles se développent préférentiellement en mâles. Tel est le cas en présence de fortes infestations racinaires. La femelle est un endoparasite sédentaire. Le mâle n'est pas indispensable à la reproduction de l'espèce (Mateille & Mounport, 1994).



**Figure 2** : Cycle de développement de *Meloidogyne* spp

### 3.5. Techniques de détection des nématodes à galles

En phytopathologie, le terme diagnostic est souvent employé pour désigner deux objectifs différents à savoir l'observation et l'identification.

- ✓ L'observation fait référence à la recherche d'un agent pathogène donné dans les tissus ou les organes de la plante.
- ✓ L'identification est la détermination de l'agent responsable des symptômes de la maladie observée chez une plante.

Il faut adopter une démarche d'observation du macroscopique (champ, plante) au microscopique (tissus racinaires).

Sur le terrain, l'observation de symptômes spécifiques et leur évolution est la première étape dans le processus de diagnostic des maladies des plantes. L'observation s'effectue selon trois approches :

- le mode de distribution des plantes infestées au niveau de la culture (par plages),
- le ou les partie(s) de la plante qui est ou sont affectée(s),
- la présence de galles; symptômes spécifiques des espèces du genre *Meloidogyne*.

L'observation microscopique des tissus racinaires peut se faire directement après traitement par des colorants spécifiques et observation à la loupe binoculaire. Les femelles sont colorées en rouge par la fuchsine acide ou en bleu par le bleu de coton.

L'extraction des nématodes des racines suivie de leur observation à la loupe ou au microscope, permet aussi la détection de ces endoparasites sédentaires.

En biologie moléculaire, une étude a été entreprise dans le but de développer un test ELISA sensible comme outil de diagnostic dans la détection des *M. incognita* (Kapur-Ghai *et al.*, 2014).

### **3.6. Dégâts des nématodes à galles**

L'augmentation de volume des cellules corticales conduit à la formation d'une galle typique de l'infection par *Meloidogyne*. En cas d'infestation forte, les galles peuvent envahir tout le système racinaire, perturbant l'absorption hydrique et minérale de la plante, tandis que le chevelu disparaît. On estime les dégâts par des indices de galles compris entre 0 et 10 en fonction des attaques (Tableau 2). Ces dégâts sont d'autant plus importants que la population est plus élevée au moment où l'on installe la culture. Si la population de départ est faible, la plante ne subit généralement pas de dégâts la première année. On observe d'abord un ralentissement de la croissance des plantes puis un flétrissement, et des galles sur racines ou tubercules, ainsi que la déformation des légumes racines. Cependant le parasite se multiplie à un point tel que la culture peut subir de graves dégâts dès la 2ème année, plus ou moins vite selon les conditions de sol, de climat et la sensibilité de la culture. Le « seuil de nuisibilité » ou « limite de tolérance » de la plante est d'environ 100 à 1000 individus par kg de sol ou 10 à

100 par g de racine. On assiste alors à une forte diminution de la partie aérienne, due à la réduction des racines, qui se présente souvent par taches dans un champ et la récolte peut parfois être réduite à néant (Djian-Caporalino *et al.*, 2009).

**Tableau 2** : Système de notation des indices de galles pour estimer les dégâts dus aux nématodes à galles du genre *Meloidogyne* (selon Netscher et Sikora, 1990)

0	système racinaire complet et sain ; pas d'infestation	1	très peu de galles de petite taille
2	petites galles plus facilement détectables	3	nombreuses petites galles ; chevelu racinaire encore complet
4	nombreuses petites galles ; quelques grosses galles ; système racinaire fonctionnant encore	5	25% du système racinaire comportant des galles et ne fonctionnant plus
6	50% du système racinaire comportant des galles et ne fonctionnant plus	7	75% du système racinaire comportant des galles et ne fonctionnant plus
8	quasiment plus de radicelles ; chapelets de grosses galles sur les racines principales ; la plante ne peut plus se nourrir	9	système racinaire réduit et rempli de grosses galles empêchant la plante de se nourrir
10	plante et racines mortes		

Parfois les plantes infectées n'extériorisent aucun symptôme aérien visible mais le rendement peut être affecté quantitativement et qualitativement : réduction de la floraison et fructification, consistance faible et amertume des fruits etc.

Les dégâts indirects se traduisent par la prédisposition au stress abiotique (sécheresse) ou d'autres agents pathogènes du sol principalement, les champignons des genres *Fusarium* et *Verticillium* qui peuvent envahir les vaisseaux conducteurs de la plante.

### 3.7. Symptômes causés par les nématodes à galles

Les symptômes observés sur les parties aériennes des plantes attaquées sont le flétrissement, le nanisme, la diminution de la taille des feuilles et le jaunissement des feuilles.

Sur les racines, le symptôme le plus évident est la formation de galles (Planche 3) : c'est la première réaction, macroscopiquement observable, d'une infestation de juvéniles de *Meloidogyne*. Elles correspondent à des modifications anatomiques induites lors de la nutrition du juvénile J2 avant sa mue. Ces modifications, provoquées par la sécrétion salivaire du nématode, se caractérisent par une déformation des cellules vasculaires du cylindre central, nourricières des juvéniles, en cellules géantes. D'une manière générale, l'infection par des nématodes engendre une baisse des rendements ou une déformation des tubercules, des fruits, et des bulbes (Mukhaimar, 2015).



**Planche 3:** Symptômes causés par les nématodes à galles *Meloidogyne javanica* : sur les parties aériennes de tomates (A) et sur les racines de tomate (B) 4 mois après l'infection.

#### 4. Méthodes de contrôle : les plantes nématicides

L'usage des plantes pesticides se révèle être une pratique ancestrale en Afrique. En effet, de nombreuses plantes sont connues et utilisées pour leurs activités biocides (toxique, répulsive, anti-appétant) vis-à-vis d'une large gamme de bioagresseurs.

Au niveau des nématodes, il a été observé une inhibition de l'éclosion ou de l'émergence des larves après usage d'extraits de diverses plantes telles qu'*Azadirachta indica*, *Chromolaena odorata* (Asteraceae), *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae), *Carica papaya*, *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae), *Cassia alata* L. (Caesalpiniaceae), *Vernonia amygdalina* Delile (Asteraceae) sur les nématodes du genre *Meloidogyne*. *Afouda et al.* (2012) ont fait les mêmes observations sur les *Meloidogyne* tout en mettant l'accent sur la variabilité de l'action nématicide selon la plante et l'organe utilisé. Récemment, il a été démontré que l'amendement des plants de piment infestés par une poudre de feuilles d'*A. indica* induit une baisse importante des populations de nématodes avec pour conséquence une meilleure croissance des plants traités, contrairement aux plants non traités (*Yarou et al.*, 2017).

Ces végétaux peuvent nuire aux nématodes de différentes manières. Les substances actives peuvent être exsudées des racines et agir :

- soit en inhibant la pénétration des larves dans les racines cas du Sésame *Sesamum orientale* (Pedaliaceae) ;
- soit en inhibant l'éclosion des œufs cas de *Eragrostis curvula* (Poacées) ;

- soit en empoisonnant les nématodes cas de la Pervenche de Madagascar *Catharanthus roseus* (Apocynaceae) ou de l'Asperge *Asparagus officinalis* (Liliaceae).

Elles peuvent aussi être synthétisées en réaction à l'infestation (ces substances sont alors des phytoalexines) et inhiber le développement des larves cas de dérivés du gossypol, de l'aldéhyde terpénoïque du Cotonnier *Gossypium hirsutum* var. *Auburn 623* (Malvaceae) ou être déjà présentes dans les tissus au niveau des tiges, feuilles, fleurs, graines ou racines et agir :

- soit en empoisonnant la larve dès sa pénétration dans la plante cas de l'Arachide *Arachis hypogaeae* (Fabaceae) ;
- soit en bloquant son développement et sa multiplication cas du Ricin *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) ou du Tagetes des parfumeurs *Tagetes minuta* (Asteraceae).

Certaines de ces plantes sont introduites dans les rotations en précédent cultural, comme engrais verts nématicides ou en association avec la culture sensible ; ce sont surtout des Fabaceae. De nombreuses pratiques indigènes, en Afrique, en Inde, aux Philippines et en Amérique du Sud les utilisent également sous forme de préparations à base de broyats ou d'extraits qui sont incorporés aux sols cultivés et peuvent servir d'amendements organiques nématicides ; exemple: feuilles composées de *Datura metel* (Solanaceae) (Cayrol *et al.*, 1992).

Des plantes dites « pièges » sont aussi souvent utilisées dans le contrôle des nématodes à galles. Elles peuvent être soit :

- des plantes pièges sensibles : plantes qui vont attirer les nématodes et qu'il faudra détruire avant que ces derniers n'aient accompli leur cycle de développement ;
- des plantes pièges mauvaises hôtes : plantes qui vont attirer les nématodes mais les empêcheront d'accomplir leur cycle :
  - ✓ soit en les empoisonnant (toxines néoformées, phytoalexines : substances antibiotiques produites par la plante en réaction à une infection),
  - ✓ soit en ne leur fournissant pas les éléments indispensables au développement des femelles (ce qui favorise parfois le développement de mâles) (Djian-Caporalino *et al.*, 2009).

## 5. *Datura metel*

*Datura metel* est une plante diploïde ( $2n = 48$ ) de la famille des Solanacées. *Datura metel* L., communément appelée «trompette du diable» ou «trompette de l'ange» est une plante narcotique utilisée depuis longtemps comme médicament par de nombreuses cultures du monde entier (Murch *et al.*, 2009).

Appelé «katidjanta» en wolof au Sénégal il est également connu ailleurs sous diverses appellations : Métel, stramoine métel, concombre du diable, trompette de la mort (Français). Downy thorn apple, metel thorn apple, metel (Anglais). Il pousse à l'état sauvage dans toutes les régions chaudes du monde, et est cultivé dans le monde entier pour ses propriétés chimique et ornementale.

### 5.1. Description et Systématique

#### 5.1.1 Description

*Datura metel* est une plante herbacée d'environ 1 à 2 mètres de haut et pouvant devenir arbustive.

**Les racines** sont longues, épaisses et de couleur blanchâtre

**Les tiges** sont généralement teintées de violet ou de rouge noirâtre.

**Les feuilles** grossièrement triangulaires sont profondément dentées et longues de 14 à 22 centimètres et larges de 8 à 11 centimètres,

**Les fleurs** solitaires, violettes en forme d'entonnoir ou de trompette, presque rondes une fois épanouies, peuvent mesurer jusqu'à 17 centimètres de long.

**Le fruit** rond, plus gros que celui de la stramoine, est recouvert de verrues, les graines sont plates et d'un brun clair.

De tous les *Daturas*, c'est le *Datura metel* qui est le plus utilisé dans l'Ancien Monde (Baran, 2000). La diversité spécifique des *Datura* à l'échelle mondiale est très importante. Les Solanacées englobent près de 2500 espèces regroupées en 90 genres. Les espèces pour la moitié appartiennent au genre *Solanum* L.. Certaines espèces sont alimentaires notamment la pomme de terre, la tomate, le piment et l'aubergine, tandis que d'autres, qui poussent à l'état spontané, sont toxiques telles que la jusquiame et la belladone *Datura*, connues depuis des siècles pour leurs propriétés narcotiques et psychotropes (Morsli, 2018).



**Photo 1** : Culture de *Datura metel*

### 5.1.2. Systématique

Classification de Cronquist (1981)

Régne : *plantea*

Division : *magnoliophyta*

Classe : *magnoliopsida*

Ordre : *solanales*

Famille : *solanaceae*

Genre : *Datura*

### 5.2. Composition chimique

Toutes les espèces de *Datura* sont chimiquement analogues. Leurs principes actifs se composent d'alcaloïdes (produits azotés à propriétés alcalines) dérivés de l'atropine. Les deux principaux sont la scopolamine (ou hyoscine) et l'hyosciamine. La scopolamine est un alcaloïde spécifique du genre *Datura*, particulièrement concentrée dans les *Daturas*: *metel*, *ferox*, *inoxia*.

Ses alcaloïdes sont l'hyosciamine et la scopolamine, on y trouve également de la norhyosciamine et de la cuscohygrine. Cette espèce, plus riche en scopolamine la classe parmi les puissants sédatifs (Baran, 2000).

### 5.3. Différentes espèces de *Datura*

Le genre comprend une vingtaine d'espèces, réparties spécifiquement sur les cinq continents. Étant donnée sa grande souplesse écologique, la colonisation des deux hémisphères,

essentiellement limitée par des conditions climatiques et d'altitude permet de retrouver le *Datura* en de nombreux points du globe.

Toutes les espèces possèdent des propriétés semblables. Il existe plusieurs variétés de *Datura* (plus de 10) dont les plus courantes sont *Datura metel*, *Datura stramonium*, *Datura fastuosa*, *Datura muritica*, *Datura innoxia*, *Datura meteloides* Dunel, *Datura canadia*, *Datura arborea* L, *Datura sauveolans*, *Datura quercifolia*.

#### **5.4. Usages agricoles de *Datura***

Contrairement à l'usage médical, l'utilisation de *Datura* est en plein essor dans le monde agricole ouvrant parfois même de nouvelles perspectives possibles.

En Inde, durant l'année 1991, une étude fut menée afin de tester le pouvoir insecticide d'extraits de différentes plantes dont *Datura* suite à d'importants ravages causés par les insectes au niveau des stocks de riz Basmati entreposés. Les résultats démontrèrent l'efficacité du *Datura*, permettant ainsi de disposer d'un moyen possible pour lutter contre ce fléau.

Toujours en Inde, une étude en 1995 révéla l'efficacité du *Datura* contre différentes bactéries et champignons (*Myrothecium roridum*, *Alternaria tenuis* et *Xanthomonas campestris malvacearum*) s'attaquant aux plants de coton.

Dans le sud de l'Angleterre, lors de l'année 1987, une épidémie de mildiou fut d'importants dégâts au sein des plantations de tomates. Le *Datura* du genre *stramonium* se montra être un recours efficace pour limiter la propagation de la maladie.

Au Pakistan en 1995, des expériences ont été effectuées pour lutter contre les nématodes phytoparasites, *Datura metel* montra un fort potentiel nématicide (Baran, 2000).

Un an auparavant, au Kenya, *Datura stramonium* prouva les mêmes vertus dans ce pays où les nématodes posent un sérieux problème pour la production des végétaux. Ceci ouvre de nouvelles perspectives pour combattre ce fléau, à une époque où les produits chimiques utilisés auparavant sont prohibés, du fait de leur potentiel toxique incontestable pour l'environnement (Baran, 2000).

Une étude menée en Inde en 1997, souligna le potentiel antifongique de *Datura stramonium* contre plusieurs types de champignons différents (*Alternaria brassicola*, *Colletotrichum capsici*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* et *Sclerotinia sclerotiorum*) sans effet toxique noté pour l'environnement (Baran, 2000).

## 6. Cendre de charbon

La cendre est un résidu principalement basique de la combustion, de l'incinération, de la pyrolyse de diverses matières organiques et minérales, et par extension de produits tels que le charbon, le lignite, le coke ou de divers déchets brûlés dans les incinérateurs, en plein air ou dans les cheminées ou fours (Wikipédia, 2019).

### 6.1. Composition de la cendre

La composition des débris pulvérulents nommés cendres varie selon de nombreux paramètres, qui sont essentiellement les espèces végétales brûlées, les parties des plantes (écorce, tronc, ou jeunes branches avec feuillage par exemple), la nature du sol, ainsi que la période de l'année durant laquelle ces plantes ont été récoltées. Les cendres obtenues selon le foyer ou le mode de combustion se distinguent fortement.

Les cendres de bois, outre les matières carbonées résiduelles (braises non consommées, charbons actifs imprégnés de particules carbonées, de goudrons ou de gaz divers...) contiennent beaucoup de calcium (entre 20 et 50% sous forme d'oxyde de calcium, c'est-à-dire de chaux) et sont généralement riches en potasse alors que celles d'herbes, en particulier de graminées, ou simplement de paille, sont riches en silice. La coloration des cendres est assurée par de petites proportions d'oxydes de fer, de manganèse... Ce sont des matières minérales, non organiques.

Les oxydes de calcium, de potassium et de sodium sont des bases fortes, c'est pourquoi le pH de la cendre est entre 10 et 13.

Les constituants acides : dioxyde de carbone, acide phosphorique, acide silicique, acide sulfurique sont peu présents, et, en présence des bases citées ci-dessus, se retrouvent généralement sous forme de sels, respectivement des carbonates, phosphates, des silicates et des sulfates.

À proprement parler, ce n'est que lors de la combustion des matières organiques que ces sels de calcium et de potassium pourraient donner respectivement la chaux et la potasse retrouvées dans les cendres. Mais en pratique on n'obtient de la chaux vive que par l'art raisonné du chauffournier et on extrait des cendres de la potasse ou de la soude impure, respectivement à base de carbonate de potassium ( $K_2CO_3$ ) et de carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$ ).

D'autres substances telles que le soufre, le chlore, le fer ou le sodium n'apparaissent qu'en faibles quantités et d'autres encore ne se trouvent dans le bois qu'exceptionnellement comme

l'aluminium, le zinc, le bore, etc (Wikipédia, 2019).

## **6.2. Utilisation de la cendre en agriculture**

Les cendres sont depuis le Néolithique utilisées comme engrais pour leur richesse en sels minéraux, notamment en potasse et en oligo-éléments. Elles composent l'engrais de base des techniques ancestrales de brûlis. La cendre de charbon quoique possédant une composition variable, est utile comme source de phosphore. Elle peut servir en raison de son pH alcalin comme amendement pour corriger l'acidité des sols. De plus la cendre de charbon contient peu de micro polluants organiques et également peu de métaux lourds, ce qui signifie qu'elle ne risque pas d'accentuer la présence de ces polluants organiques et inorganiques dans le sol, l'aubergine ou la nappe phréatique (Soobadar, 2009).

Les cendres permettent d'apporter de très nombreux minéraux nécessaires à la croissance des plantes, mais elles ne doivent pas constituer la seule source d'amendement du sol, puisqu'elles ne contiennent pas d'azote. Elles sont très solubles et salines. Une quantité excessive de sels dans le sol inhibe la croissance des végétaux et cause souvent la mort des micro-organismes. De plus, par leur caractère très alcalin, les cendres peuvent altérer fortement les parties des plantes avec lesquelles elles ont été mises en contact directement (Wikipédia, 2019).

## DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES

### 1. Présentation du site d'étude

L'étude a été réalisée dans les parcelles de la station d'étude de la DPV qui est située au Km 15 sur la route de Rufisque. C'est une structure du Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural du Sénégal (MAER). La DPV (Annexe 1) est dans la zone des Niayes, une bande de terre de 180 km de long sur une vingtaine de kilomètres de large allant de Dakar à Saint Louis (Figure 3). Les conditions écologiques de la zone sont particulièrement favorables au développement de l'horticulture. La zone bénéficie d'un microclimat particulier comparable à celui du type subcanarien caractérisé par l'alizé boréal maritime. La nappe phréatique est peu profonde avec des puits d'une profondeur variant de 3 à 7 m suivant la géomorphologie de la localité. Par contre, le milieu est particulièrement favorable à la prolifération des ravageurs des cultures. Les maraîchers utilisent beaucoup de pesticides même si cette région, de par la faible profondeur de la nappe phréatique et la nature poreuse du sol, est très fragile écologiquement (Ngom *et al.*, 2013).



Figure 3 : Carte de la région de Dakar montrant l'emplacement de la DPV

## 2. Matériel biologique

### ❖ *Datura metel*

Originnaire de l'Amérique Centrale, *Datura metel* fait partie de la famille des solanaceae à floraison nocturnes. La variété de *Datura* à fleurs blanches appelée *Datura metel* a été choisie pour la préparation de la poudre des feuilles et des fleurs à effet nématocide.

Récoltées dans les rues de Sicap Mbao, les plantes de *Datura metel* ont été séchées à l'ombre pendant 13 jours. Les feuilles et les fleurs sont réduites en poudre à l'aide d'un mixeur électrique puis tamisées. Un poids de 30g a été pesé et mis sous une assiette pour constituer une partie du mélange que représente le traitement T2.



**Planche 4** : préparation de la poudre de *Datura metel* : branche de *Datura metel* (A), séchage à l'ombre des branches (B), récupération des feuilles et fleurs de *Datura* (C), broyage avec un mixeur électrique des feuilles et fleurs (D), tamisage du broyat (E), poudre de *Datura metel* (F).

### ❖ Cendre de charbon

Étant une partie inorganique, inerte, amorphe et inutilisable, la cendre de charbon est un résidu principalement basique de la combustion présente dans le charbon actif. Celle-ci a été aussi utilisée dans les traitements.

## ❖ Aubergine douce

L'aubergine douce (*Solanum melongena*), est une plante herbacée de la famille des solanaceae originaire d'Asie. La variété d'aubergine qui a été choisie pour cette étude est le Kalenda. Le choix de cette variété est conditionné par sa sensibilité aux nématodes. Cette variété productive présente une croissance déterminée avec un cycle de 130 jours au moins. Les fruits noirs allongés ont un poids moyen de 440 g et une longueur allant de 20 à 22 cm.

### 3. Méthodes

#### 3.1. Pépinière

La pépinière provient de Dental Agrobusiness (Photo 2). Elle a été faite dans des alvéoles contenant du terreau qui est un substrat indemne de nématodes dont le pourcentage en matière organique est de 90% et un pH de 6,5. La pépinière a reçu deux traitements ; un fongicide tel le mancozèbe et un traitement insecticide avec le benji à 1 mois 13 jours avant repiquage.



**Photo 2** : Pépinière d'aubergine douce

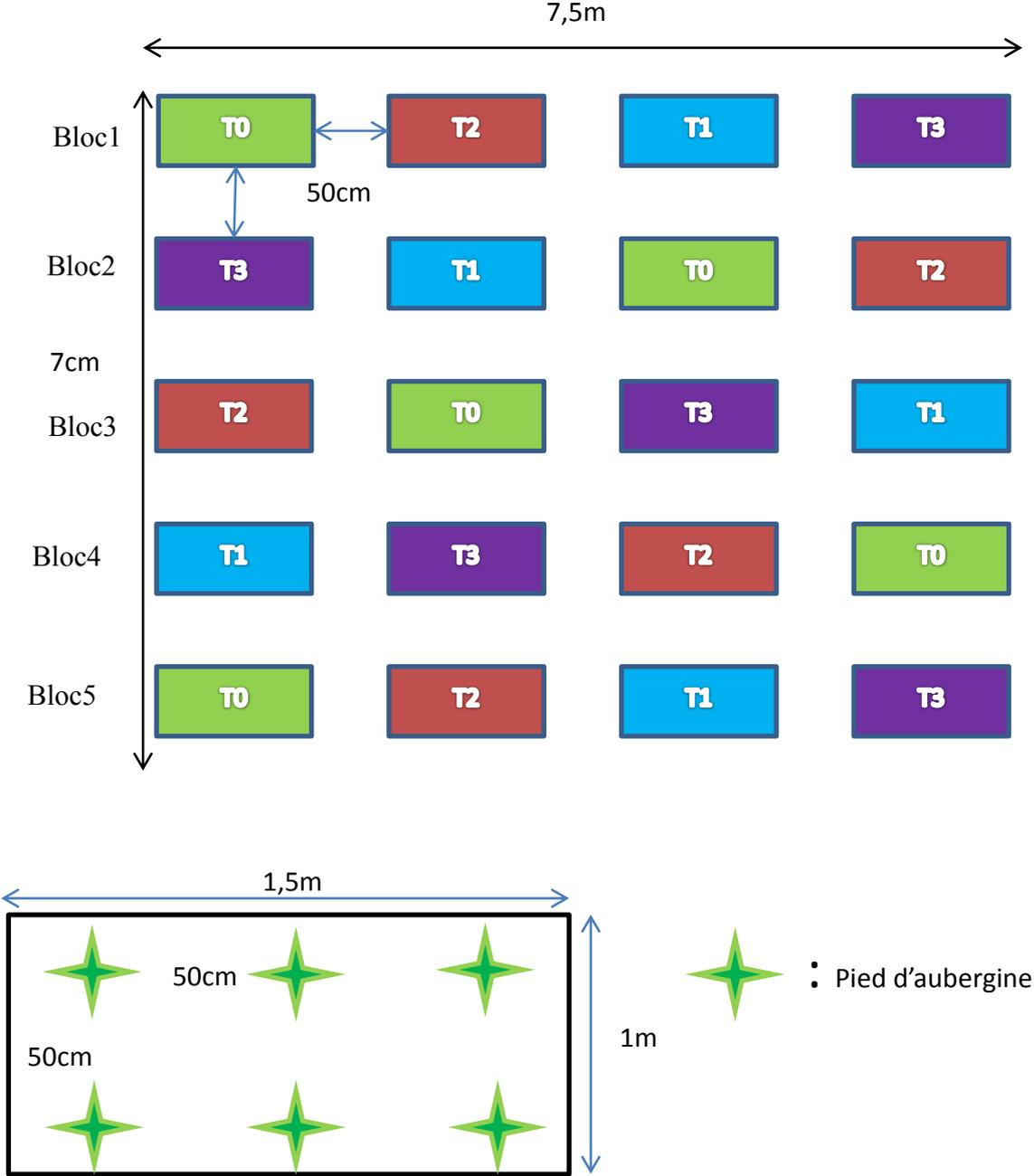
#### 3.2. Dispositif expérimental et suivi de la culture

L'essai a été réalisé sur une surface de 52,5 m<sup>2</sup> suivant un dispositif en blocs complets de Fischer avec 4 traitements (Figure 4) :

- T0 : Témoin sans traitement
- T1 : Traitement avec de la cendre de charbon de bois uniquement (12g/PE)
- T2 : Traitement constitué du mélange T1 & *Datura* (12 g/PE)
- T3 : Traitement référence : Savanem ou *Mocap* 10G (Ethoprophos 100g/Kg) à la dose recommandée de 80Kg/ha soit 12g/ PE

Chaque traitement est répété 5 fois. Chaque répétition correspond à une parcelle élémentaire d'une surface de 1,5 m<sup>2</sup> (Figure 4), ce qui fait au total 20 parcelles élémentaires distant de 50

cm. Dans chaque parcelle élémentaire, 2 lignes de 3 pieds d'aubergine distant de 50 cm ont été transplantées.



Parcelle élémentaire

**Figure 4:** Dispositif expérimental de l'essai

Les plants ont été arrosés quotidiennement avec 10L d'eau par parcelle. Ces parcelles étaient constituées de sol sableux, léger et ayant reçu le NPK (10 10 20) comme fumures de fond à raison de 75g pour chaque parcelle élémentaire et 37,5g sur chaque surface de 1,5m<sup>2</sup> soit 250kg/ha de fumure d'entretien à 40, 55 et 85 JAR.

Des désherbages ont été effectués manuellement afin d'enlever les adventices et de remuer le sol. Suite à une attaque de cochenilles, un traitement phytosanitaire à base de titan avec comme dose de 15ml pour 15L d'eau a été appliqué sur l'étendue de la parcelle pour contrôler leurs populations.

### 3.3. Repiquage

Au moment du repiquage, la pépinière était au stade de 5 à 6 feuilles pour la plupart des pieds dont la hauteur étant comprise entre 10 et 15cm. Les plantes ont été repiquées par lignes à une profondeur d'environ 5cm creusée avec la main (Planche 5).



**Planche 5** : repiquage des plants d'aubergine (photos : Aminata DIEME)

### 3.4. Les traitements

- ✓ Mélange de la poudre de *Datura metel* et la cendre de charbon : T2

Après préparation de la poudre de *Datura*, 30g ont été pesés puis complétés par 30g de la cendre. Le mélange ainsi formé pèse 60g qui va être distribué dans 5 sachets de 12g chacun. Chaque sachet va être saupoudré contre le vent par parcelle élémentaire à une semaine avant le repiquage. L'opération est répétée pour chaque traitement en dehors du témoin vierge.

- ✓ La cendre de charbon : T1

La cendre aussi constitue un traitement avec 12g pour chaque répétitions,

- ✓ Le Mocap

Le *Mocap* 10G ou *Savanem* constitue le traitement témoin de référence (T3). C'est un produit chimique à effet nématicide avec comme matière active Ethoprophos 100g/Kg. Sa dose est de 80Kg/ha donc sur une surface de 1,5m<sup>2</sup>, 12g de *Mocap* ont été utilisés. A l'aide de la main protégée avec un gant, chaque 12g contenu dans un sachet a été épandu sur une parcelle élémentaire contre le vent pour éviter la perte de produit.

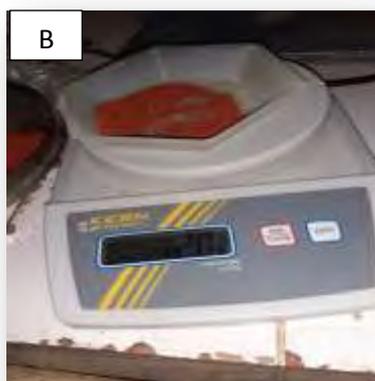


Planche 6 : Formulation 1 kg du Savanem (*Mocap* 10G) (A), pesage des granulés du *Mocap* 10G (B).

#### 4. Analyses nématologiques

##### 4.1. Echantillonnage sol

Des échantillons de sol ont été prélevés avant traitement, à un mois après traitement et à la fin de l'expérimentation à l'aide d'une tarière qui peut aller jusqu'à 10 cm de profondeur (Planche 8). Les parcelles élémentaires de chaque traitement ont été échantillonnées et mélangées dans un seau, puis un échantillon composite de 1 kg est mis dans un sachet en plastique pour servir à l'analyse au laboratoire.



Planche 7 : Echantillonnage du sol (A), mise en sachet de l'échantillon composite (B) (Photos : Aminata DIEME).

##### 4.2. Extraction des nématodes du sol

La technique d'extraction utilisée est la « méthode des seaux » (Planche 9). Des tamis en plastique de 100  $\mu\text{m}$  recouverts avec des filtres kleenex humidifiés ont été d'abord préparés. 250g de l'échantillon de sol ont été pesés et mélangés avec de l'eau, une sédimentation de cinq secondes va permettre aux particules de sable de se retrouver au fond du seau et les nématodes de surnager. Le surnageant a été récupéré (débris organiques et des nématodes) à l'aide d'un tamis de 100 $\mu\text{m}$ . Cette opération est répétée deux à trois fois. La suspension est

recupérée avec l'eau. Cette dernière est ensuite versée sur le filtre de cellulose (kleenex humidifiées). Les débris sont retenus par le filtre et les nématodes migrent activement vers l'eau au fond du plateau au bout de 24h à 48h. L'eau contenant les nématodes au fond du plateau constitue l'extrait de nématode.



**Planche 8:** extraction des nématodes du sol : lavage de l'échantillon (A), filtrage de l'échantillon (B), rinçage de l'échantillon (C), récupération de la suspension (D), tamis recouvert de kleenex imbibé (E), migration active des nématode de la suspension vers l'assiette (F) (Photos : Aminata DIEME).

#### 4.3. Identification et comptage de nématode du genre *Meloidogyne*

La suspension de nématodes extraits du sol est versée dans un tube de 100ml et laissée au repos pendant 24h. Les nématodes se déposent au fond du tube. À l'aide d'une pipette graduée, la solution a été réduite jusqu'aux environs de 5ml du fond contenant les nématodes. Ces 5ml sont versés sur une plaque de comptage graduée et déposés sous la loupe binoculaire (Planche 10). Ce montage placé sous loupe binoculaire permet d'identifier et de compter les *Meloidogynes* grâce à une clé d'identification sur la base d'un certain nombre de critères morphologiques dont la forme du corps, la queue, le stylet, etc.



**Planche 9:** suspension récupérée dans le tube à essai (A), identification et estimation des *Meloidogynes* (B) (Photos : Aminata DIEME).

## 5. Détermination de l'incidence et de la sévérité de l'infestation de *Meloidogyne*

### ✓ Incidence de l'infestation

L'incidence de l'infestation permet d'évaluer la proportion de plants attaqués par *Meloidogyne*. Pour cela tous les plants ont été déterrés à la fin de l'essai et observés à l'œil nu pour voir la présence ou non de galles. L'incidence est le rapport des plants infestés par *Meloidogyne* sur le nombre total de plants observés. Elle a été déterminée selon la formule suivante :

$$I (\%) = \frac{PA}{PT} \times 100$$

PA : nombre de plants infestés par *Meloidogyne*

PT : nombre total de plants observés

I (%): incidence de l'infestation en pourcentage

### ✓ Sévérité de l'infestation

La sévérité permet de décrire le niveau de l'infestation. La sévérité a été déterminée sur chaque plant en se basant sur l'indice de galle en utilisant l'échelle de cotation de Zeck (1971) (voir Annexe 2) allant de 0 à 10.

Échelle :

0 : pas d'infestation (pas de galle)

1 : très peu de petites galles observées

2 : nombreuses petites galles

3 : nombreuses petites galles et quelques galles moyennes

4 : nombreuses petites galles et quelques grosses galles

5 : 25% du système racinaire comporte des galles et ne fonctionne plus

6 : 50% du système racinaire comporte des galles et ne fonctionne plus

7 : 75% du système racinaire comporte des galles et ne fonctionne plus : pertes de rendement

8 : les racines sont couvertes de galles, la plante n'a plus de nourriture. 90% du système racinaire est infecté

9 : le système racinaire meurt, la plante est en train de mourir. 95% du système racinaire est infecté

10 : la plante et les racines sont mortes, plus de système racinaire. Le système racinaire est affecté à 100%.

## **6. Détermination de la production d'aubergine**

La récolte a été faite au stade de maturité des fruits. Ainsi 8 récoltes ont été effectuées durant le cycle et la première récolte a eu lieu 51 jours après repiquage. A chaque récolte, les fruits d'aubergine de chaque parcelle élémentaire sont pesés à l'aide d'une balance.

## **7. Analyses statistiques**

Les données obtenues ont été saisies dans le tableur Excel et à l'aide du logiciel R version 3.5.0, elles sont soumises aux analyses statistiques avec le test d'analyse des variances (ANOVA) (Annexe 3).

L'Anova permet de savoir si les traitements appliqués produisent des effets significatifs ou non sur les variables numériques mesurés.

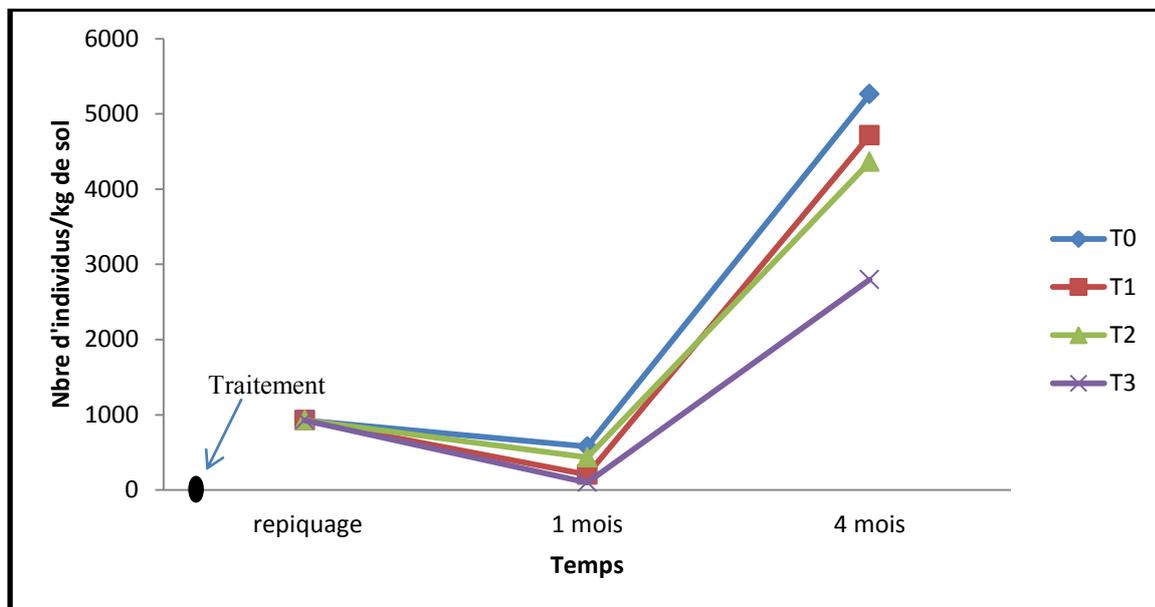
Les graphiques ont été réalisés à l'aide de Microsoft Excel 2010.

## TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 1. Résultats

#### 1.1. Densité de *Meloidogyne* dans le sol

La figure 5 ci-dessous présente l'évolution de la densité de *Meloidogyne* (nombre d'individus/kg de sol) avant et après traitement en fonction du temps. Ainsi, nous constatons qu'avant traitement le nombre de *Meloidogyne* était constant à 928 individus/kg de sol. Ce nombre diminue à 1 mois après traitement quel que soit le traitement à environ 100 individus/kg de sol ainsi qu'au niveau du témoin blanc. Par contre la densité de *Meloidogyne* augmente quatre mois après traitement pour tous les traitements et dans le témoin blanc. Cependant cette augmentation est plus importante dans les parcelles non traitées (T0) comparé aux parcelles traitées avec le *Mocap* (T3) et le mélange poudre et cendre (T2).



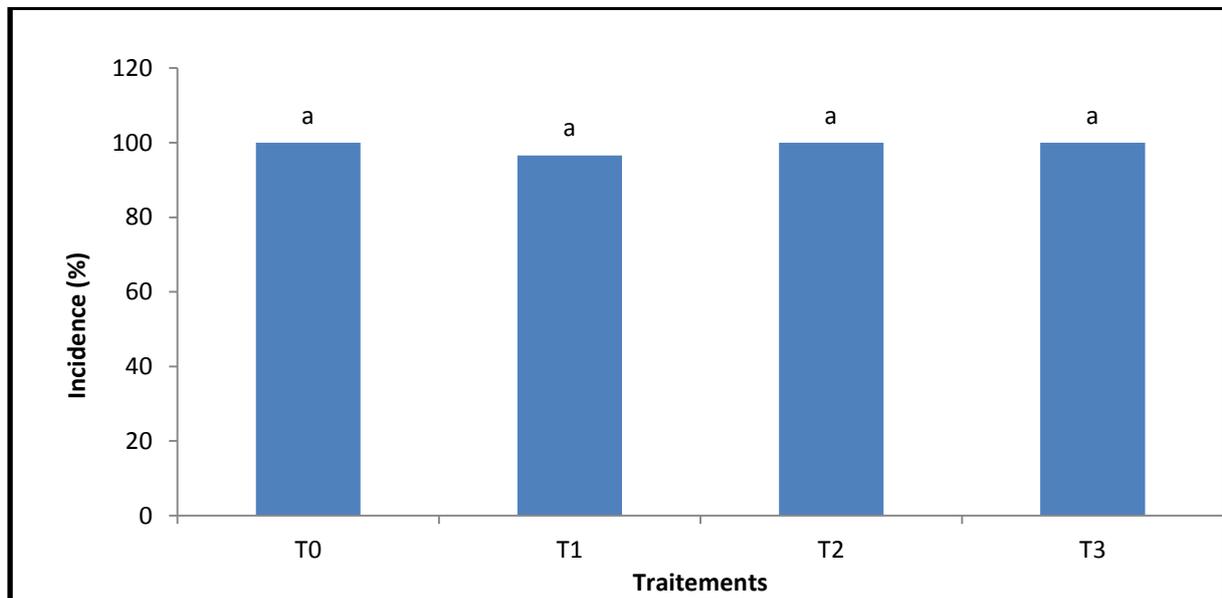
**Figure 5:** Evolution de la densité de *Meloidogyne* (nombre d'individus / kg de sol) en fonction du temps pour chaque traitement

#### 1.2. Incidence et sévérité d'infestations due à *Meloidogyne*

##### 1.2.1. Incidence de l'infestation

Les résultats de l'incidence de l'infestation des nématodes du genre *Meloidogyne* sur l'aubergine, mesurés à travers le nombre de plants infectés sont représentés dans la figure 6. Nous constatons que quel que soit le traitement, l'incidence est significativement identique.

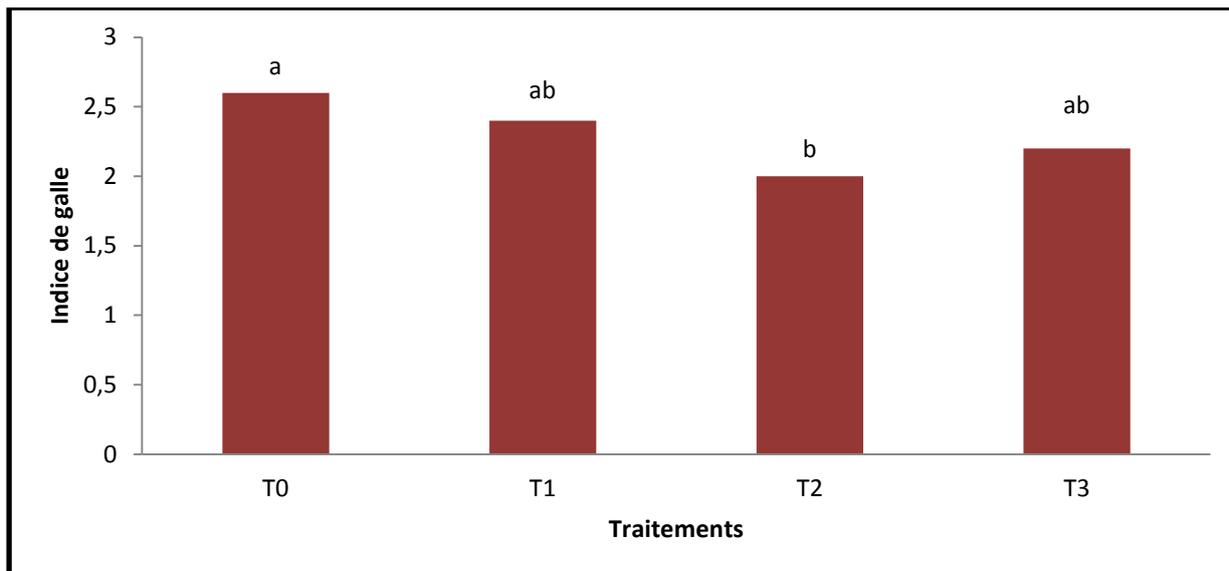
Toutefois, elle est légèrement plus faible dans les parcelles traitées avec de la cendre comparé au témoin blanc, au témoin de référence et au mélange.



**Figure 6** : Evolution de l'incidence de l'infestation due à *Meloidogyne* (IG) sur l'aubergine selon le traitement

### 1.2.2 Sévérité de l'infestation

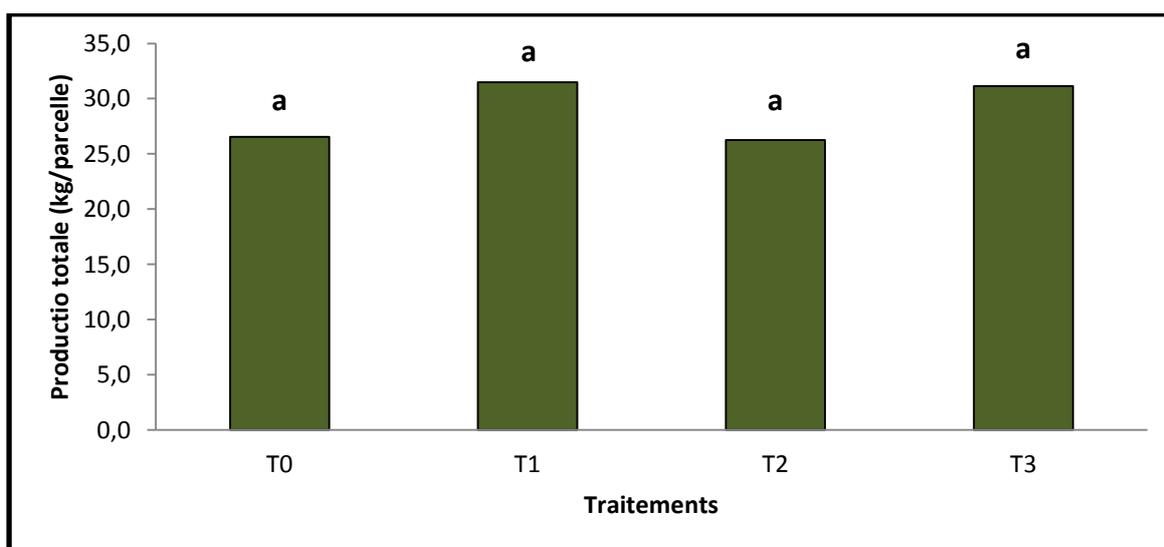
Les résultats de la sévérité d'infestation des nématodes du genre *Meloidogyne* sur l'aubergine, mesuré à travers l'indice de galle sont représentés dans la figure 7. L'indice de galle mesuré dans les parcelles à la fin de l'essai ne dépasse pas 3. L'infestation des racines de l'aubergine est plus faible dans les parcelles traitées (T1, T2 et T3) comparées à celle mesurée dans les parcelles témoins non traitées (2,6). Cependant, la différence n'est significative qu'avec le traitement mélange poudre de *Datura Metel* + cendre.



**Figure 7:** Evolution de la sévérité de l'infestation due à *Meloidogyne* (IG) sur l'aubergine selon le traitement

### 1.3. Production

Les résultats de la production totale d'aubergine sont représentés dans la figure 9 ci-dessous. Cette dernière varie en moyenne entre 26,3 et 31,5 kg/parcelle. Cependant, elle est plus élevée dans les parcelles traitées avec de la cendre (T1) et celles traitées avec du *Mocap* (T3) (31,5 kg/parcelle) en comparaison à celle des parcelles non traitées T0 et celles traitées avec le mélange (T2). En effet dans ces parcelles la production d'aubergine tourne aux environs de 26 kg/parcelle. Néanmoins l'analyse des données montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les productions.



**Figure 8:** Production totale d'aubergine sur chacun des traitements

## 2. Discussion

Cette étude a été menée dans le but de tester l'efficacité nématicide du mélange cendre de charbon et poudre de *Datura metel* sur les nématodes du genre *Meloidogyne* en culture d'aubergine.

L'indice de galle mesuré dans les parcelles traitées avec le mélange poudre et cendre est plus faible (2) que ceux mesurés dans les parcelles témoins (non traitées ; 2,6 et de référence ; 2,2) mais aussi à celui des parcelles traitées avec la cendre (2,4). Les résultats obtenus montrent l'existence d'une corrélation entre les densités des nématodes et l'indice de galles car l'indice de galle le plus faible a été obtenu avec le mélange alors que l'indice de galle le plus élevé a été enregistré par le témoin vierge. Au niveau racinaire nous avons noté quelques petites galles parfois une absence de galle ce qui démontre que le nombre de femelles de *Meloidogyne* a été réduit à un seuil où elles ne causeront pas de dommage aux plantes. D'une manière générale, les résultats de l'indice de galles observés sur les racines ont permis d'en déduire l'efficacité de certains traitements testés dans cet essai. Ainsi, les traitements qui ont pu maintenir la densité de population des *Meloidogyne* à un niveau relativement faible sont le mélange cendre et poudre de *Datura metel* en premier, le *Mocap* en deuxième puis la cendre en troisième lieu. Donc le mélange semble réduire l'infestation des racines d'aubergine douce par *Meloidogyne*, par conséquent il réduit la reproduction des *Meloidogyne*s et la formation des galles au niveau des racines. Les travaux de Amin & Youssef, (1999) et de Morsli, (2018) illustrent cette tendance avec un pourcentage de réduction de 86.4% du nombre de femelles de *M. javanica*.

Par ailleurs, le mélange diminue la densité des nématodes du genre *Meloidogyne* dans le sol un mois après repiquage. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Morsli, (2018) qui stipule que cette réduction peut être due aussi au cumul toxique des produits de décomposition de la plante amendée. Les plantes cultivées dans les sols amendés ont montré une amélioration significative de la croissance. Cela peut être dû en partie à la réduction des *Meloidogyne* et partiellement en raison du fait que ces additifs ont aussi servi comme engrais organiques. Néanmoins, cette diminution est moins importante comparée à celle engendrée par le *mocap*.

Les résultats de cette étude montrent que l'ajout de *Datura metel* comme amendement organique peut avoir un effet nématicide et peut être utilisé avec succès pour contrôler les

nématodes à galles, substituer cette technique aux traitements chimiques classiques et éviter de ce fait la pollution de l'environnement.

Avec la cendre, le nombre d'individus diminue plus par rapport au témoin. Ceci s'explique par le fait que la cendre seule a un effet nématocide et agit sur les *Meloidogynes* en réduisant leur population néanmoins son effet est moins efficace comparé au *Mocap*,

En revanche, il faut noter que la diminution de la densité des nématodes du genre *Meloidogyne* notée dans les parcelles témoins non traitées à un mois après repiquage n'est pas liée aux traitements mais pourrait être due à une mort naturelle.

La forte augmentation du nombre de *Meloidogyne* constatée sur tous les traitements explique la nécessité de traiter une deuxième fois. Cependant cette augmentation est plus faible avec le *Mocap* ; ce qui veut dire que ce produit serait le plus rémanent comparé au mélange.

Normalement, comme le mélange réduit la formation de galle au niveau racinaire, les prévisions étaient que les parcelles qui ont été traitées avec ce produit donnent une meilleure productivité. Cependant, l'observation de la production totale/récolte/parcelle montre une diminution des rendements quand l'attaque des nématodes du genre *Meloidogyne* est modérément faible comparés à celle des parcelles traitées avec la cendre et avec le *Mocap*. Cette différence de rendement pourrait être due à la pauvreté du sol ou à l'action des nématodes présents. En outre, il pourrait que la cendre et le *Mocap* aient des substances qui permettent à la plante d'absorber plus d'éléments minéraux nécessaires pour sa fructification. Toutefois, l'analyse statistique montre que quel que soit le traitement, la production est significativement égale. Ces résultats sont contradictoires avec ceux obtenus par (Morsli, 2018b) qui a mis en évidence une différence significative entre les différents traitements au niveau de la production. Le rendement le plus élevé est observé au niveau des parcelles traitées. Le témoin a enregistré le rendement le plus faible.

L'absence de différence significative entre les productions totales par rapport aux traitements pourrait être justifiée soit par le fait que les produits utilisés n'ont pas d'effet sur le rendement, soit par une insuffisance des paramètres étudiés d'où la limite de la méthode utilisée. Dès lors, nous pouvons conclure que le mélange est efficace pour réduire la densité des nématodes du genre *Meloidogyne* mais en ce qui concerne le rendement, il est sans effet.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de notre étude était de tester l'efficacité nématocide du mélange cendre de charbon et poudre de *Datura metel* et la comparer à celle du *Mocap*. À l'issue de cet essai nous pouvons retenir en se référant à l'indice de galle que le mélange est aussi efficace que le produit chimique de synthèse dans le contrôle des nématodes *Meloidogyne*. Par contre, cette efficacité n'a pas entraîné une production plus significative dues au faible niveau d'infestation du site et au fait que la production d'aubergine est impacté que par de fortes infestations.

Toutefois ce mélange peut être utilisé comme alternatif car en plus de son pouvoir réducteur du nombre de *Meloidogyne*, il permet donc d'éviter la pollution de l'environnement mais aussi de préserver la santé du consommateur et des producteurs.

Pour compléter cette étude, il serait important en perspective de tester ce produit dans un sol très infesté pour mieux évaluer son efficacité sur le rendement et l'évaluer à des doses et des dates différentes.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amin A.W., Youssef M.M.A. (1999) – Comparative study on the efficiency of dry and green manuring of certain plant leaves against *Meloidogyne javanica* and *Rotylenchulus reniformis* infecting sunflower. *Anzeiger für Schädlingskunde= Journal of pest science*, 72, 166–168.
- Baran J.-M. (2000) – Daturas: plantes magiques, hallucinogènes et médicinales à l'île de la Réunion et dans le monde. PhD Thesis. UHP-Université Henri Poincaré.
- Blancard D., Vanhuffel L., Chesneau T., Armand J.C. (2012) – Inventaire des maladies et des bioagresseurs des cultures légumières de Mayotte. Rapport de mission, INRA, France.
- Boubekri C. (2014) – Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* par des techniques électrochimiques. PhD Thesis. Université Mohamed Khider Biskra.
- Cayrol J.-C., Djian-Caporalino C., Panchaud-Mattei E. (1992) – La lutte biologique contre les nématodes phytoparasites.
- Daunay M.-C., Dalmaso A. (1985) – Multiplication de *Meloidogyne javanica*, *M. incognita* et *M. arenaria* sur divers Solarium ('). *Revue Nématol*, 8, 31–34.
- Diop M.T., Konaté B.T.Y.A. Incidence de quelques facteurs agronomiques sur les populations de *Meloidogyne* spp. et leurs principaux organismes parasites en culture maraîchère sahélienne.
- Diop M.T., Mateille T., Ndiaye S., Mounport D. (2000) – Développement des populations de *Meloidogyne javanica* et de *Scutellonema cavenessi* dans les systèmes de culture maraîchère au Sénégal. *Nematology*, 2, 535–540.
- Djian-Caporalino C., Védie H., Arrufat A. (2009) – Gestion des nématodes à galles: lutte conventionnelle et luttés alternatives. L'atout des plantes pièges. *Phytoma*, 624, 21–25.
- Doğan M., Arslan O., Doğan S. (2002) – Substrate specificity, heat inactivation and inhibition of polyphenol oxidase from different aubergine cultivars. *International journal of food science & technology*, 37, 415–423.
- Duponnois R., Cadet P., Senghor K., Sougoufara B. (1997) – Sensibilité de plusieurs acacias australiens au nématode à galles *Meloidogyne javanica*. In: *Annales des sciences forestières*, pp. 181–190. EDP Sciences.
- El-Deeb A.M., El-Ashry R.M., El-Marzoky A.M. (2018) – Nematicidal Activities of Certain Animal Manures and Biopesticides against *Meloidogyne incognita* Infecting Cucurbit

- Plants under Greenhouse Conditions. *J. Plant Prot. and Path.*, Mansoura Univ, 9, 265–271.
- Hébert Y. (1985) – Résistance comparée de 9 espèces du genre *Solanum* au flétrissement bactérien (*Pseudomonas solanacearum*) et au nématode *Meloidogyne incognita*. Intérêt pour l'amélioration de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) en zone tropicale humide. *Agronomie*, 5, 27–32.
- Kapur-Ghai J., Kaur M., Goel P. (2014) – Development of enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) for the detection of root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Journal of parasitic diseases*, 38, 302–306.
- Mallamaire A. (1965) – Deux nématodes nuisibles aux plantes cultivées au Sénégal. *Chambre de commerce et d'industrie*.
- Mateille T., Mounport D. actinomycetite parasite des nématodes du genre *Meloidogyne*.
- Morsli S. (2018a) – Proposition d'un modèle de culture biologique Tomate/Datura et effet des biopesticides (métabolites secondaires) sur les bioagresseurs. PhD Thesis Thesis. ENSA.
- Morsli S. (2018b) – Proposition d'un modèle de culture biologique Tomate/Datura et effet des biopesticides (métabolites secondaires) sur les bioagresseurs. PhD Thesis Thesis. ENSA.
- Mukhaimar M. (2015) – Sources naturelles de la résistance contre les nématodes à galles *Meloidogyne javanica* chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana*. PhD Thesis Thesis.
- Murch S.J., Alan A.R., Cao J., Saxena P.K. (2009) – Melatonin and serotonin in flowers and fruits of *Datura metel* L. *Journal of Pineal Research*, 47, 277–283.
- Ngom S., Manga A., Diop M., Thiam M.B., Rousseau J., Cissé I., Traoré S. (2013) – Étude de l'évolution des résidus de pesticides dans les produits horticoles de grande consommation au Sénégal. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 21, 31–44.
- Soobadar A. (2009) – Impacts agronomiques et environnementaux de l'épandage de vinasse et de cendre de charbon/bagasse sur les terres agricoles de l'Île Maurice. PhD Thesis Thesis.
- Sougnabé S.P., Yandia A., Acheleke J., Brevault T., Vaissayre M., Ngartoubam L.T. (2010) – Pratiques phytosanitaires paysannes dans les savanes d'Afrique centrale. In: p. . PRASAC.
- Vedie H. (2009) – Protection contre nématodes à galles: intérêt de la gestion des rotations culturales.

Yarou B.B., Silvie P., Assogba Komlan F., Mensah A., Alabi T., Verheggen F., Francis F.  
(2017) – Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de  
l’Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et  
Environnement*, 21, 288–304.

**Wikipédia**

## **ANNEXE 1 : Présentation de la DPV**

Direction du Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural, la DPV a une mission de contrôle de qualité et de lutte phytosanitaire. Elle assure au niveau national, la supervision technique des actions de lutte contre les attaques des ennemis des cultures.

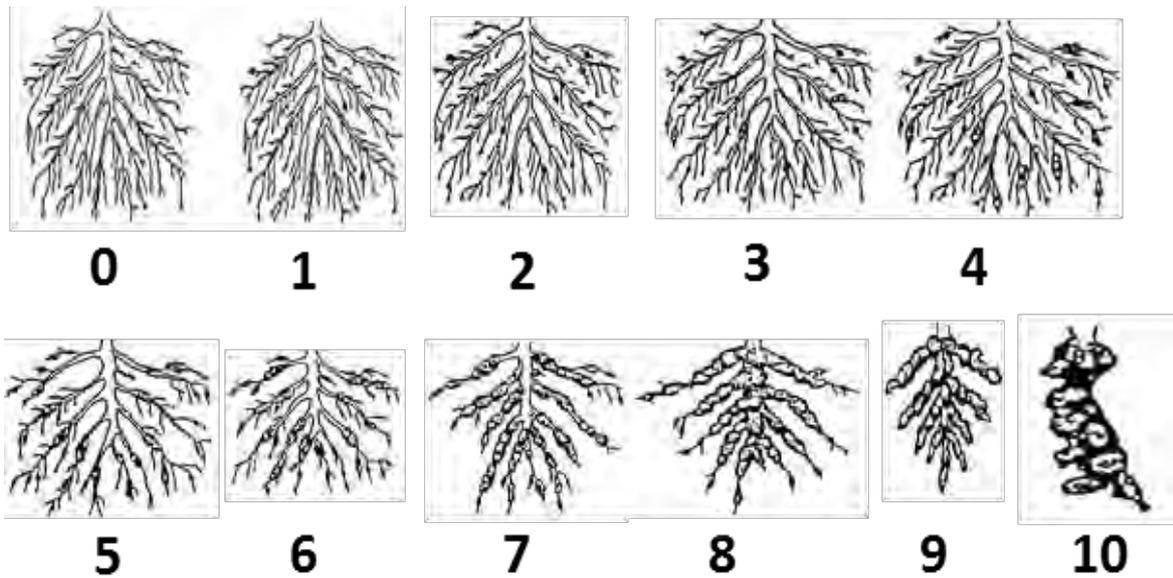
La DPV compte trois divisions et quatre laboratoires :

- ✓ La Division de Défense des Cultures(DDC)
- ✓ La Division Législation et Quarantaine des plantes (DLQ)
- ✓ La Division Avertissement Agricole(DAA)
- ✓ Le laboratoire d'Entomologie et Zoologie agricoles
- ✓ Le laboratoire de Phytopathologie et Malherbologie
- ✓ Le laboratoire de Nématologie
- ✓ Le laboratoire de Phytopharmacie

Elle compte aussi des établissements spéciaux comme le centre de formation et la station de désinfection du port et huit (8) Bases de Surveillance et d'Avvertissement agricoles (BSA) établies dans toutes les zones agro-écologiques du Sénégal comme celles de :

- ✓ BSA de Richard Toll vallée du fleuve Sénégal
- ✓ BSA de Notto Gouye Diama (zone des Niayes des Niayes)
- ✓ BSA de Dahra (dans la zone silvo-pastorale),
- ✓ BSA de Missira zone de Tambacounda
- ✓ BSA de Sokone (bassin arachidier)
- ✓ BSA de Kolda (dans la base Casamance)
- ✓ BSA de Nganda bassin arachidier
- ✓ BSA d'Ogo vallée du fleuve Sénégal

## ANNEXE 2 : Détermination de l'indice de galle



*Echelle de notation de Zeck (1971)*

**0**-Pas de galle

**1**-Quelques galles difficiles à voir

**2**-Quelques galles bien visibles, racines principales saines

**3**-Quelques grosses galles bien visibles, racines principales saines

**4**-présence de grosses galles racines principales saines

**5**-50% des racines affectées quelques galles sur les racines principales, réduction système racinaire

**6**-Galles sur les racines principales

**7**-Majorité des racines principales avec des galles

**8**-Toutes les racines gallées, y compris la racine pivotante

**9**-Toutes les racines sévèrement gallées, la plante meurt

**10**-Toutes racines gallées, plus de système racinaire, plante morte

*Description des niveaux de l'échelle*

### ANNEXE 3 : Détails des analyses statistiques

data: IGmoy

W = 0.58039, p-value = 1.857e-06

\$means

IG	rank	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
T0	2.6	13.5	0,54772265	2	3	2	3	3
T1	2.4	11.5	0,54772265	2	3	2	2	3
T2	2.0	7.5	0,00000005	2	2	2	2	2
T3	2.2	9.5	0,44721365	2	3	2	2	2

\$groups

IG groups

T0 13.5 a

T1 11.5 ab

T3 9.5 ab

T2 7.5 b

data: produc\_Kg

W = 0.92641, p-value = 0.03114

\$means

produc_Kg	rank	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
T0 3.31875	15.6875	0.7544807	8	2.35	4.45	2.6375	3.400	3.7750
T1 3.93750	18.5625	1.5763316	8	1.80	6,5	2.8625	3.800	4.8625
T2 3.28125	14.8750	1.3596054	8	1.30	6.50	2.1500	3.525	4.0250
T3 3.89375	16.8750	2.1383300	8	1.75	8.50	2.6375	3.400	4.3625

\$groups

produc\_Kg groups

T1 18.5625 a

T3 16.8750 a

T0 15.6875 a

T2 14.8750 a