

**Université Djillali Bounaama, Khemis Miliana**

**Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre**

**Département des Sciences Agronomiques**



<b>Domaine de formation</b>	<b>Sciences de la nature et de la vie</b>
<b>Filière</b>	<b>Sciences Agronomiques</b>
<b>Spécialité</b>	<b>Production végétale</b>
<b>Niveau</b>	<b>L3</b>
<b>Semestre</b>	<b>I</b>

### **Cours photocopié**

## **Les nématodes nuisibles à l'agriculture**

Présenté par Mr **KARAHACANE Tahar**

**Année universitaire 2016/2017**

## Présentation de la matière enseignée

Depuis que l'homme a commencé à cultiver, il a cherché toujours à améliorer la productivité.

A la récolte ou à la fin de la campagne agricole, l'agriculteur ou l'exploitant n'arrive guère à atteindre les objectifs escomptés. Ceux-ci sont dus à de nombreuses causes naturelles.

- Accidents climatiques
- Carences du sol en éléments nutritifs
- Ennemis animaux et végétaux
- Champignons, bactéries, virus et mycoplasmes

Donc le rôle d'un technicien (Future licencié), en tenant compte de tous ces facteurs naturels, est de protéger ces cultures en luttant efficacement.

Parmi les ennemis animaux à craindre, nous citons les Insectes, les vertébrés nuisibles, les Acariens, les Escargots et les Limaces et les Nématodes phytophages. C'est sur ces derniers que va s'articuler notre enseignement selon le programme du cursus de la licence « Production végétale » à savoir « **les nématodes nuisibles à l'agriculture** ».

Donc aucune méthode de lutte ne peut être utilement conseillée contre un ennemi des cultures si celui-ci n'a pas d'abord été exactement déterminé ou identifié qu'il s'agisse d'un ravageur (acarien insecte ou nématode..) ou d'un agent pathogène (Champignon, bactérie ou virus).

L'identification et les diagnostics se révèlent donc nécessaires :

Alors il faut procéder avant tout par :

- L'échantillonnage
- L'identification
- Le degré d'infestation
- L'étude biologique

Dans ce contexte, il est possible de conseiller ou de proposer une méthode de lutte ou bien le choix d'un produit phytosanitaire tout en justifiant la nature du produit, la dose et la période du traitement.

Tous ces détails utiles dans le cursus de l'étudiant seront étudiés dans la matière « nématodes nuisibles à l'agriculture » durant le premier semestre de la troisième année L3 (LMD), spécialité « production végétale »

## \* SOMMAIRE

### **Introduction**

#### **1 Généralités sur les nématodes nuisibles**

a. Facteurs favorables aux nématodes

- Sol
- Température
- Humidité
- Plantes hôtes
- Autres facteurs

b. Formes de conservation et de survie des nématodes

#### **2 Place des nématodes dans le règne animal**

a. Classification générale

b. Classification détaillée des principaux ordres de nématodes phytophages avec quelques genres redoutables.

#### **3 Cycle biologique**

a. Nématodes du système racinaire

- cas du nématode à gales « *Meloidogyne* »
- Cas du nématode à kystes « *Heterodera* »

b. Nématodes du système aérien : cas du nématode *Ditylenchus*

#### **4 Nutrition des nématodes phytophages**

a. Nématodes Ectoparasites

b. Nématodes semi endoparasites

c. Nématodes endoparasites

#### **5 Différents symptômes dus aux attaques des nématodes phytophages**

a. Partie aérienne

b. Partie racinaire

#### **6 Symptômes et dégâts dus aux interactions entre nématodes et organismes pathogènes**

#### **7 Rôle des nématodes dans la dissémination et le développement des maladies des plantes**

#### **8 Quelques exemples de nématodes phytoparasites avec leur plantes hôtes**

- a. Nématodes des cultures céréalières
- b. Nématodes des cultures fourragères
- c. Nématodes des cultures maraichères
- d. Nématodes des arbres fruitiers
- e. Nématodes des cultures industrielles
- f. Nématodes des autres cultures

**9 Lutte contre les nématodes phytophages**

- a. Lutte préventive ou prophylactique
- b. Lutte culturale
- c. Lutte biologique
- d. Lutte physique
- e. Lutte chimique
- f. Lutte intégrée

## INTRODUCTION

Les nématodes phytopages ou anguillules sont, après les insectes un groupe des animaux les plus importants dans le règne animal (Hugot *et al.*, 2001) et les plus dangereux à l'égard de plusieurs plantes cultivées. Ils réduisent la production à environ de 11% (Agrios, 2005).

L'étude des nématodes est complexe car ces déprédateurs sont difficiles à mettre en évidence. Autrefois, les dégâts causés aux cultures, passaient souvent inaperçus ou étaient inféodés à d'autres causes : sol peu fertile ou considéré comme épuisé, humidité insuffisante (Coyne *et al.*, 2010)...Cela s'explique en partie par le fait que ces déprédateurs sont si petits qu'il faut un microscope pour les observer.

La nématologie est une science qui étudie les nématodes et la mise en pratique de ces connaissances (Prot, 1984). C'est une étude récente en plein développement, créée au cours des 50 dernières années et ceux-ci grâce à de nombreux facteurs (création du microscope optique et les nouvelles recherches sur la systématique).

La découverte du nématode doré de la pomme de terre en 1953 du genre *Heterodera* donna un point de départ pour les études de Scohla Masses à l'I.N.R.A d'Alger (INPV, 2009).

Les nématodes phytophages sont des vers allongés, microscopiques (0.2 mm à plus de 3 mm), à section circulaire dont le corps est couvert d'une cuticule (Prot, 1984., Lilley *et al.*, 1999., Coyne *et al.*, 2010).

L'immense majorité des espèces ne dépasse pas les 1 à 2 mm (Blumenthal et Davis, 2004)

Ces parmi ces derniers de taille microscopique généralement inférieure à 1 mm que l'on observe des ravageurs occasionnant des dégâts considérables aux plantes cultivées.

Ils occasionnent des pertes jusqu'à 100 milliards de dollars dans le monde entier et 7 milliards de dollars seulement aux états unis (Belair, 2005)

Leurs reproduction est sexuée, mais parfois parthénogénétique (*Meloidogyne*) (Prot, 1984).

Dans la pratique, on peut diviser les dégâts causés en deux (02) catégories : Ceux qui détruisent les organes aériens de la plante et ceux qui atteignent le système racinaire (Coyne, 2010).

Les premiers sont provoqués par des espèces du genre *Ditylenchus* comme *D dipsaci* des bulbes et des tiges, *Aphelenchoides* comme *A. fragaria* du fraisier et *Anguina* comme *A. tritici* du blé. Les seconds sont souvent attaqués par des genres *Heterodera* comme l'anguillule de la betterave *H. shashtii*, celle de la pomme de terre *H. rostochiensis*, celles des céréales *H. avenae*, ou *Meloidogyne* (Blancard, 2009.)

En plus des dégâts causés, les nématodes peuvent favoriser le développement de certaines maladies, souvent vecteurs de viroses entraînant des pertes de rendements considérables, le développement des champignons et des bactéries. Plusieurs chercheurs ont contribué à prouver que les nématodes sont sources de ces maladies (Cadet, 1998). Nous citons aussi le cas Loridat et Ganry (1989) qui ont mis en évidence l'interaction des nématodes avec des champignons aux Antilles.

## **1. Généralités sur les nématodes nuisibles**

### **a. Facteurs favorables aux nématodes**

#### **• Sol**

La nature du sol (texture et structure) influe sur le développement des nématodes (Trigiano *et al.*, 2004). Certains préfèrent les sols légers : *Meloidogyne*, *Criconemoides*. D'autres préfèrent les sols assez lourds : *Ditylenchus*, *Hemicyclophora*. En général les sols lourds permettent difficilement le bon déplacement des nématodes (Schneider et Mugniery, 1971).

#### **• Température**

La température optimale d'éclosion des larves est environ entre 10 et 13°C. Les périodes d'activité des nématodes sont différentes d'une région à une autre.

La chaleur favorise le développement des nématodes mais ceux-ci ne résistent pas à une température supérieure à 50°C. A une température basse au dessous de 10°C, les nématodes sont inactifs et ne s'attaquent pas aux plantes. Chez les nématodes à kystes, l'éclosion des larves L2 se fait quand la température est supérieure à 7°C. La température optimale est entre 10-20°C (Salazar et Ritter, 1993).

#### **• Humidité**

L'humidité est un facteur favorable important car il permet le déplacement et donc la dispersion des nématodes (Schneider et Mugniery, 1971). Un début de printemps humide est en principe favorable au Nématode *Heterodera*. C'est pour cette raison que

les dégâts se manifestent en printemps. En absence d'humidité, il y'a diminution d'oxygène et par conséquent les parasites meurent par asphyxie (**Caryol et al., 2004**). Elle active l'infection, la multiplication et la dissémination des nématodes (**Michel, 2005**).

- **Plantes-hôtes**

Ils constituent le facteur le plus important de l'évolution des populations présentes dans le sol. Les nématodes ne peuvent se reproduire que si les plantes sont présentes pour y puiser la nourriture. Exemple : *Meloidogyne incognita* a une liste très diverse de plantes-hôtes. Il peut se reproduire sur une centaine de plantes. Par contre d'autres espèces du même genre ne peuvent se reproduire que sur quelques espèces de plantes hôtes. Ceci s'explique par le phénomène de résistance des plantes et leur sensibilité aux nématodes (Schneider et Mugniery, 1971).

- **Autres facteurs**

Oxygène : est un facteur important pour la respiration des nématodes (Schneider et Mugniery, 1971)

Ph : Le ph favorable au développement des nématodes tourne autour de la neutralité Ph=8 (Yepsen, 1984)

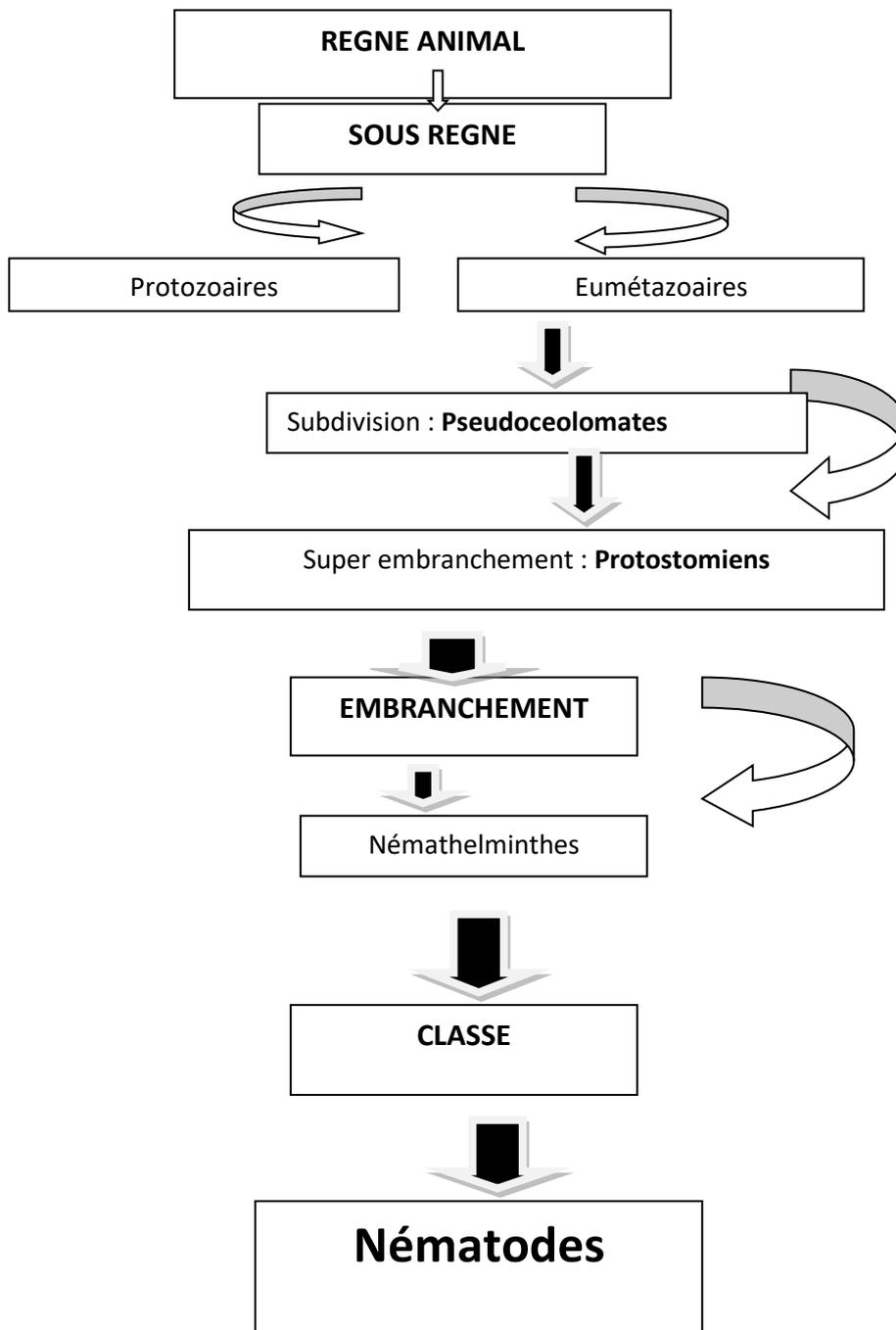
- b. Formes de conservation et de survie des nématodes**

La résistance de certaines espèces aux conditions défavorables (chaleur ou le froid) ou absence de plantes comme source de vie s'explique par le fait que les nématodes peuvent se conserver. Le mécanisme de conservation est le suivant :

- Enkystement larvaire : l'enkystement se fait à plusieurs stades L2, L3 et L4.
  - Enkystement des femelles adultes
  - Sac gélatineux
  - Kystes rempli d'œufs. Ils peuvent rester plusieurs années en absence des plantes hôtes (Stelter, 1971 in Cabi et OEPP, 1990).
  -
2. **Place des Nématodes dans le règne animal** (Prot, 1984., Caromel, 2004., Favier, 2012)

### a. Classification générale

Nous donnons dans ce schéma la place des nématodes dans le règne animal.



Les nématodes est une classe qui appartient à l'embranchement des némathelminthes, au super embranchement des Protostomiens, à la subdivision des Pseudocoelomates, au sous règne des métazoaires et au règne animal.

**b. Classification détaillée des principaux ordres de nématodes phytophages avec quelques genres redoutables**

La classification des nématodes est en plein expansion. Elle est passée du classique au biomoléculaire où les travaux de recherche sont toujours en cours. Nous nous contentons des travaux de Lorenzen (1994) , de Donald (2002), de Lorenzen (1994), de Netscher (1970), de Prot (1984), de Turner and Rowe (2006) et de Blaxter (1988).

Nous donnons la classification dans le tableau 1 qui suit.

Tab 1 : Classification des principaux ordres des nématodes phytoparasites avec leurs principaux genres redoutables à l'agriculture

Classes	Sous classes	Ordre	Sous ordre	Famille	Genre
<b>Secernentea</b>	Rhabdida	Sous classe non phytoparasite			
	Spiruria	Sous classe non phytoparasite			
	<b>Tylenchia</b>	Tylenchida	Tylenchina	Anguinidae	<i>Anguina</i> <i>Ditylenchus</i>
				Belonolaimidae	<i>Belonolaimus</i> <i>Tylenchorhynchus</i>
			Hoplolaimina	Hoplolaimidae	<i>Hoplolaimus</i> <i>Rotylenchus</i> <i>Scutellonema</i> <i>Helicotylenchus</i>
				Pratylenchidae	<i>Pratylenchus</i> <i>Radophilus</i>
				Tylenchulidae	<i>Tylenchulus</i>
				Meloidogynidae	<i>Meloidogyne</i>
				Heteroderidae	<i>Heterodera</i>
			Dolichodoridae	<i>Dolichodorus</i> <i>Globodera</i>	
			Criconematina	Criconematidae	<i>Criconemoides</i> <i>Cacopaurus</i>
<b>Diplogasteria</b>	Aphelenchida	Aphelenchina	Aphelenchidae	<i>Aphelenchoides</i>	
<b>Adenophora</b>	Chromadoria	Sous classe non phytoparasite			
	<b>Enoplia</b>	Dorylaimida	Dorylaimina	Dorylaimidae	<i>Dorylaimus</i>
				Longidoridae	<i>Xiphinema</i> <i>Longidorus</i>
	Triplonchida	Diphterphorina	Trichodoridae	<i>Trichodorus</i>	

Le phylum des nematoda se divise en deux classes : les Secernentea et les Adenophora.

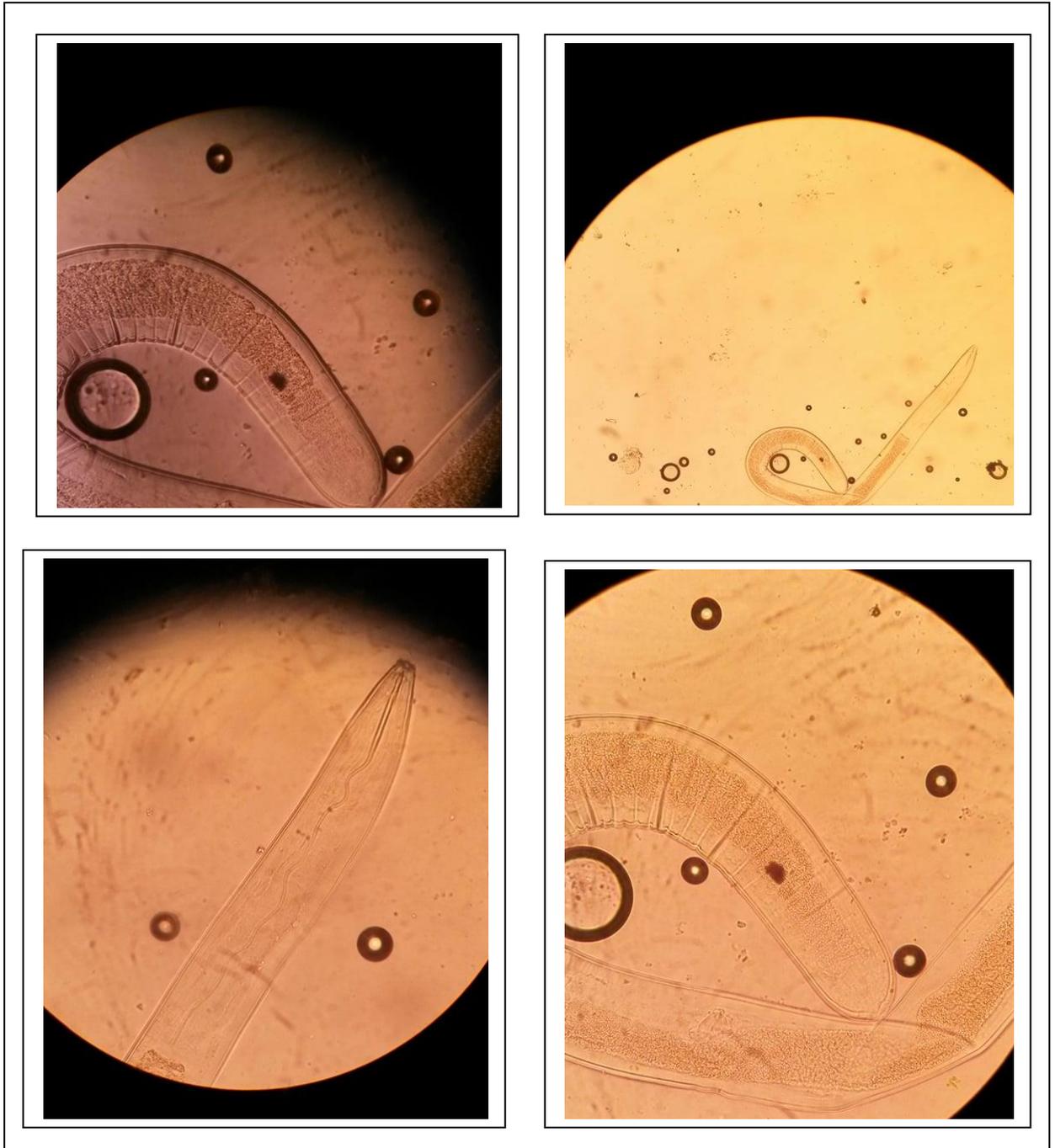
Seules les sous classes mentionnées en gras qui sont phytoparasites à savoir les **Tylenchia**, les **Diplogasteria** et les **Enoplia**.

## **La liste des nématodes le plus souvent contrôlés par l'INPV**

- *Aphelenchoides besseyi* : nématode foliaire  
sur fraisier et plantes ornementales
  
- *Ditylenchus dipsaci* : nématode des tiges et des bulbes  
sur ail, avoine, betterave, fève, fraisier, luzerne, maïs,  
oignon et plantes ornementales
  
- *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* : nématodes à kystes  
sur pomme de terre
  
- *Radopholus citripholus*  
sur agrumes et plantes ornementales.
  
- *Radopholus similis*  
sur bananier
  
- *Xiphinema americanum*  
sur vigne

## **Autres Nématodes Nuisibles (INPV, 2017)**

- *Meloidogyne sp* : nématode à galles  
sur toutes les cultures
  
- *Pratylenchus penetrans* et *Pratylenchus vulnus* :  
sur arbres fruitiers et vigne
  
- *Tylenchulus semipenetrans* : nématode des agrumes  
sur agrumes
  
- *Xiphinema index* et *Xiphinema italiae* : nématodes vecteurs de virus  
sur vigne



**Figure 11** : Des photos originales prises au microscope optique des nématodes après **échantillonnage** sur plusieurs cultures (Pomme de terre, Tomate dans la région de Khemis Miliana), **extraction** et **montage entre lame et lamelle** où plusieurs organes sont visibles : Partie antérieure, Tête, Cuticule, Stylet, œsophage, bulbe médian et **tube digestif**.

### 3. Cycle biologique

Le cycle biologique est en général très simple. Il comprend 5 stades distincts séparés par des mues, Dans la plupart des cas, la première mue se déroule à l'intérieur de l'œuf. La rave du deuxième stade est généralement la plus infestante (Coyne *et al.*, 2010).

#### a. Nématodes du système racinaire

- **Cas du nématode à gales « *Meloidogyne* »**

Dans le sol, les œufs sont libres ou enveloppés dans un sac gélatineux (Fig.12) Le froid d'hiver suivi des températures élevées du printemps font lever la dormance et provoquent l'éclosion des œufs. Les larves qui émergent du sac envahissent les racines de la plante près de la coiffe (Fudali *et al.*, 2008)

Il se forme une gale où la larve grossit et vit en parasite. Les larves du 3<sup>ème</sup> et du 4<sup>ème</sup> stade ne portent pas de stylet et se distinguent par le nombre de cuticules formées en fin du développement. Le male enfermé dans la cuticule du 4<sup>ème</sup> stade larvaire est libéré. La femelle mature devient pyriforme et pond 50 à 120 œufs.

- **Cas du nématode à kystes du genre « *Heterodera* »**

Le genre *Heterodera* est caractérisé par la formation des kystes. Ces kystes qui se trouvent dans le sol peuvent contenir un grand nombre d'œufs.

La première mue s'effectue à l'intérieur de l'œuf puis il y'a éclosion des larves du deuxième stade larvaire(Fig.13). Lorsque les conditions du milieu sont favorables, les larves 2 glissent entre les particules du sol et les gouttelettes d'eau en atteignant la racine de la plante dans laquelle elle pénètre au niveau des poils absorbants (Caubel *et al.*, 1980). Elles se fixent la tête dirigée vers la partie aérienne du végétal et la queue vers l'extrémité de la radicelle. Elle vit en endoparasite. Après les L2 grossissent et suivent progressivement leur développement.

Après la quatrième mue, les individus atteignent le stade adulte. La femelle prend l'aspect d'une boule sphérique de couleur blanchâtre (Rousselle *et al.*, 1996). Elle femelle reste immobile et sera fécondé par le male. Cette dernière meurt en transformant sa cuticule en une enveloppe très dure appelée « kyste » qui renferme un nombre d'œufs variant entre 200 à 900 œufs suivant la dimension du corps de la femelle.

Figure 12 : les différents stades du cycle biologique du Nématode à gales: cas de Meloidogyne

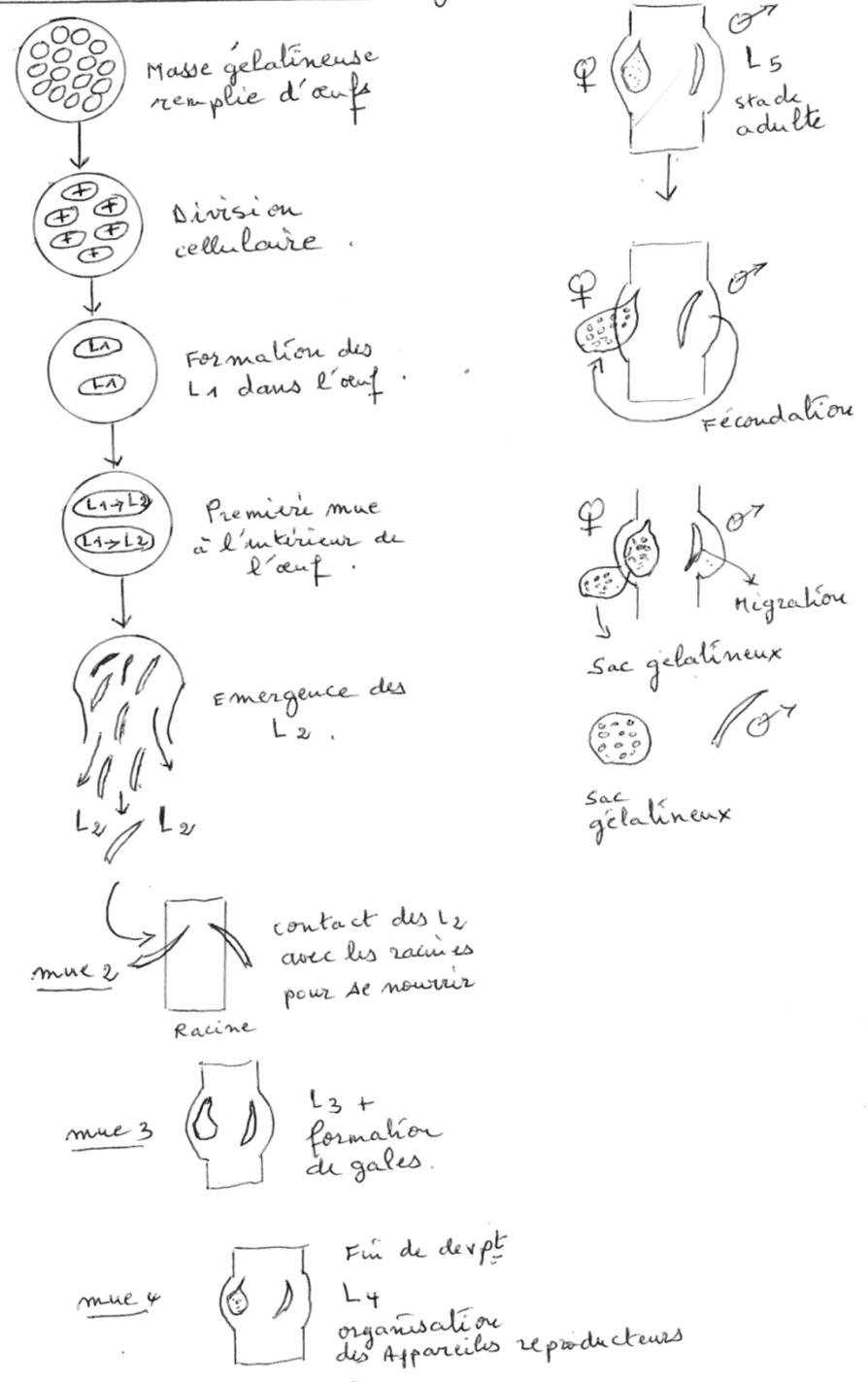
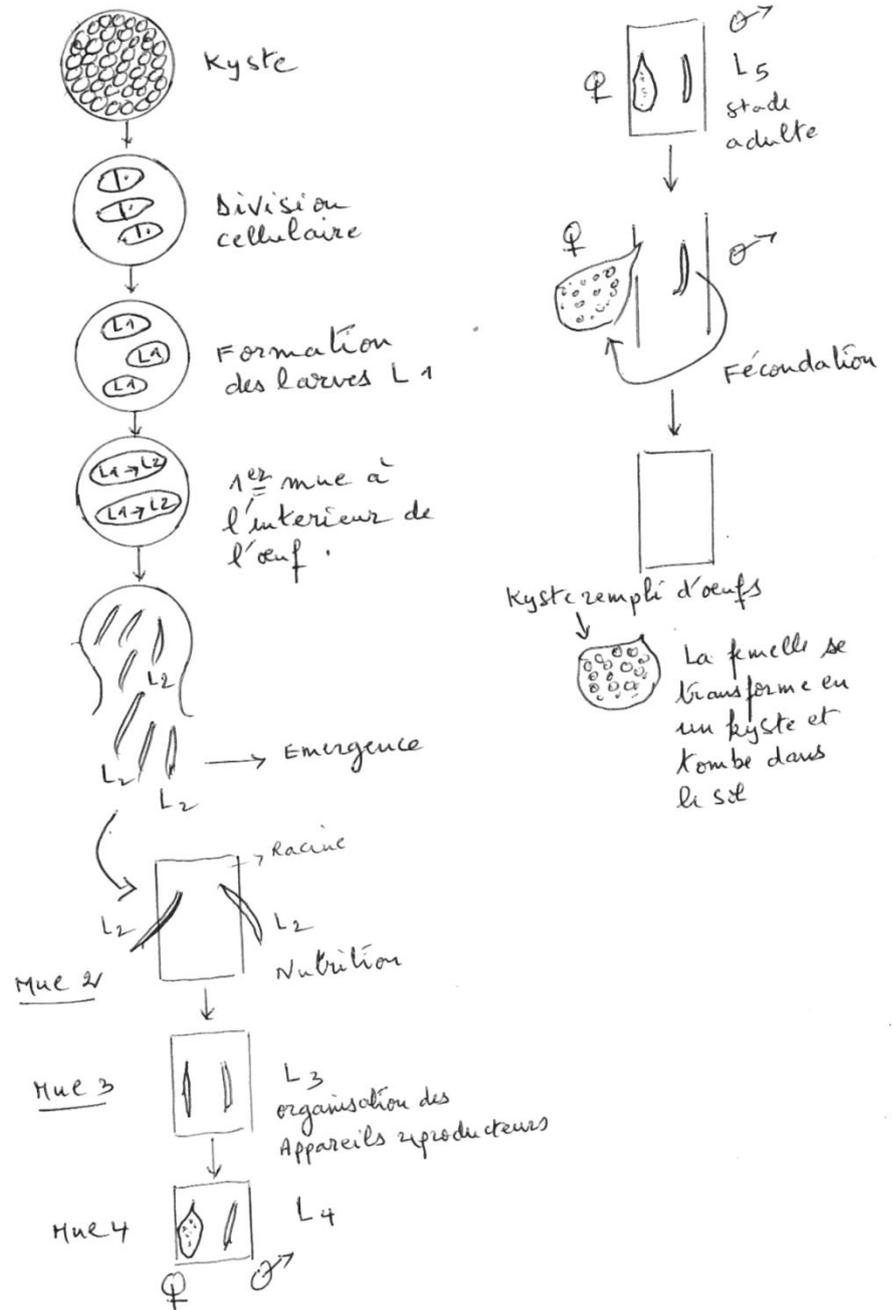


Figure 13 : différents stades du cycle biologique du Nématode à kystes : Heterodera



La durée du cycle s'effectue en 2 à 3 mois selon les régions. Dans les pays nordiques on en trouve qu'une génération par an.

**b. Nématodes du système aérien : cas du nématode *Ditylenchus***

Le nématode vit essentiellement dans les tiges et les feuilles, Son développement et sa multiplication se déroulent dans les espaces intercellulaires des parenchymes.

Le cycle peut se réaliser en 3 semaines environ à 15°C. La reproduction est sexuée. La femelle pond plusieurs centaines d'œufs dans la plante, la première mue s'effectue dans l'œuf.

Après la ponte il faut 5 jours à 15°C pour que la larve L2 éclore. Les L2 suivent leur développement pendant 9 à 11 jours jusqu'au stade adulte ayant un corps allongé. Chaque femelle peut déposer 200 à 2050 œufs.

**4. Nutrition des nématodes phytophages**

Guidé par les amphides et les organes sensoriels, les nématodes repèrent les racines se rapprochent en suivant l'odeur des exsudats racinaires pour se nourrir (Perry, 1994).

Les papilles conduisent le nématode dans la position de prise nourriture. Avec le stylet, ils perforent les cellules des racines en y injectant les sécrétions salivaires qui liquéfient partiellement le contenu cellulaire (Sijmons *et al.*, 1994) Le nématode peut alors aspirer par son stylet le liquide et l'envoyer vers son intestin.

Selon le mode de nutrition on distingue :

**a. Nématodes Ectoparasites**

**Ceux qui s'attaquent à l'extérieur de la plante** (Sijmons *et al.*, 1994., Coyne *et al.*, 2010).

• **Migrateurs**

L'attaque du végétal se fait par les adultes qui, se trouvant dans le sol, se nourrissent par le stylet grâce à des piqûres externes. Ces piqûres provoquent un arrêt de croissance des racines.

Exemple : *Xiphinema index*/ Vignoble

*Criconemoides sp*/ Agrumes

• **Sédentaires**

Ce sont les femelles qui se fixent réellement par la partie antérieure à la racine en perforant les cellules épidermiques et provoquent des sécrétions salivaires entraînant un gonflement des cellules végétales avec rupture de leur parois (Smant *et al.*, 1997).

Exemple : *Cacopaurus sp*/ Noyer

b. **Nématodes semi-endoparasites** : Ils sont partiellement enfouis dans les racines pour se nourrir.

- **Migrateurs**

Ils vivent dans le sol et pénètrent dans les racines uniquement pour prélever la nourriture. Les racines ne s'allongent plus normalement.

Exemple : *Rotylenchus sp*/ Palmier

- **Sédentaires** Ce sont des nématodes dont leur partie antérieure s'insère dans le tissu végétal en faisant saillie la partie postérieure à l'extérieur.

Conséquences : Signes de mal nutrition- Zones de nécroses sur les racines de couleur noirâtre.

Exemple : *Tylenchulus semi-penetrans*/ Agrumes

c. **Nématodes endoparasites**

Ils vivent complètement à l'intérieur des tissus de la plante.

- **Migrateurs** Ceux qui vivent dans les racines
- Ceux qui vivent dans les bulbes et les tiges (Lilley *et al.*, 1999)

**Ceux qui s'attaquent aux racines** : Pénétration des larves et des adultes à l'intérieur des racines. Ce parasite se déplace au fur et à mesure que les tissus sont détruits. Cette technique provoque des cavités qui vont être le siège d'autres maladies bactériennes et cryptogamiques (Sijmons *et al.*, 1994., Coyne *et al.*, 2010).

Exemple : *Radophilus similis*/ Racines des Agrumes

**Ceux qui s'attaquent aux bulbes et aux tiges** : les larves et les adultes pénètrent dans les tissus.

En conséquences : Ils vident le contenu cellulaire du aux sécrétions salivaires.

Exemples : *Ditylenchus dipsaci* / Bulbes d'oignons, Céréales.

- **Sédentaires** : Pénétration des larves au stade L2 où on distingue des males et des femelles à ce stade.
- **Exemples** : *Heterodera avenae*/Céréales

*Heterodera rostochiensis* / Céréales

*Heterodera shashitii*/ Betterave-Choux-Epinards.

*Meloidogyne sp/ Pomme de terre.*

## **5. Différents symptômes dus aux attaques des nématodes phytophages**

Les dégâts sont observés sur la partie aérienne et sur la partie racinaire des plantes.  
(Coyne *et al.*, 2010)

### **a. Partie aérienne**

Les nématodes en s'alimentant endommagent le système racinaire de la plante par réduction des racines et destruction des radicelles.

Avec des racines plus courtes, les plantes ne peuvent avoir accès d'eau et d'éléments nutritifs. Les dommages aux radicelles empêchent l'absorption normale de l'eau et des éléments nutritifs. Une plante infestée par les nématodes paraît souvent manquer d'eau et d'engrais par comparaison à une plante saine (Cabi et OEPP, 1990). Donc les symptômes sont caractérisés par une croissance réduite, un flétrissement de la plante, par une déformation foliaire, une décoloration de la feuille et une mauvaise formation de la partie aérienne (Mugniery, 1984., Rousselle *et al.*, 1996., Sikora *et al.*, 2005).

### **b. Partie racinaire**

Suite à la perforation excessive des nématodes par leur stylet sur les cellules et suite à des sécrétions salivaires toxiques qui tuent les cellules, les symptômes se traduisent sous forme de plusieurs aspects :

- Nécroses superficielles qui donnent des plages brunâtres
- Déformation racinaires : Racines hérissées où les radicelles ne se développent plus, racines rugueuses où seule la racine principale qui se développe, Bout de la racine principale courbée dus à l'attaque au niveau de l'extrémité de la racine, prolifération anormale des radicelles et es gales géantes. (Figures en Annexes)

## **6. Symptômes dus aux interactions entre nématodes et organismes pathogènes**

Dans les cultures, les lésions des racines provoquées par les nématodes se compliquent par l'invasion immédiate des tissus par les champignons et les bactéries (Schneider et Mugniery, 1971).

Exemples :

*Xiphinema index* qui donne le « court noué de la vigne ».

*Longidorus elongatus* qui transmet une maladie virale appelée « anneaux noirs » de la tomate.

## **7. Rôle des nématodes dans la dissémination et le développement des maladies des plantes**

Certains nématodes sont responsables de la transmission des mycoses, des bactérioses et viroses soit parce qu'ils sont vecteurs ou agir en synergisme avec d'autres organismes tels que les champignons et les bactéries pathogènes.

## **8. Quelques exemples de nématodes phytoparasites avec leurs plantes hôtes (Figures en annexes)**

### **a. Nématodes des cultures céréalières**

#### **Sur organes aériens**

*Anguina tritici*/ sur épis de blé (au Bénin)

*Ditylenchus augustus*/ Feuilles de Riz (au Bénin)

*Aphelenchoides besseyi*/ Sur épis du Riz (au Bénin)

*Ditylenchus dpsaci*/ Partie aérienne de l'Avoine (au Bénin)

*Ditylenchus diopsaci*/ Avoine, Mais et Seigle (Au Canada)

*Aphelenchoides*/ sur tiges et feuilles du Riz (au Sénégal)

#### **Sur racines *Hetrodera avenae* / Blé (en France)**

*Pratylenchus sp* / Mais et blé (en France)

*Heterodera sp* /Riz(Au Benin)

*Meloidogyne sp* / Maisn (Au Benin)

*Heterodera filipjevi*/ Céréales (au Benin)

*Heterodera sacchari* / Riz (Au Bénin)

*Pratylenchus sp*/ Blé (au Bénin)

*Hetrodera aryzicola*/ Riz

*Meloidogyne graminicola*/ Blé

### **b. Nématodes des Cultures fourragères**

#### **Sur organes aériens**

*Ditylenchus dipasaci*/ Luzerne, Trefle et Avoine (au Canada)

Sur racines

*Heterodera avenae*/ Luzerne- Sorgho et Trèfle (En France)

*Meloidogyne javanica* (Ouaragla)

*Meloidogyne indocgnita* (Ouaragla)

*Tylenchorhynchus aduncus*(à Ouaragla)

*Hemicyclophora sp*( à Ouargla)

*Longidorus sp* (à Ouaragla)

*Heterodera sp* / Sorgho (au Sénégal)

**c. Nématodes des cultures maraichères**

**Sur organes aériens**

*Ditylenchus dipsaci*/ Oignon, ail, Pois, Betterave, Carotte, Céleris, Tomate, Concombre et Fraise (au Canada)

**Sur racines** (Figures en annexes)

*Heterodera carottae* Jones.1950/ Carotte et Betterave (en France)

*Pratylenchus ssp*/ Betterave (en France)

*Meloidogyne artiellia*/Sur plusieurs cultures céréalières, maraichères et arboricoles

*Heterodera shashtii*/ Betterave (en France)

*Meloidogyne sp* / Patate douce, Cucurbitaceae, Betterave, Carotte, Pomme de terre et Laitue (Au Bénin)

*Nacobbus aberrans*/ Pome de terre (au Bénin)

*Globodera rostochiensis* / Pomme de terre (au Bénin)

*Scutellonema bradys*/ Pomme de terre (Au Bénin)

*Ditylenchus destructor*/ Pomme de terre (au Bénin)

*Ditylenchus dipsaci*/ Pomme de terre (au Bénin)

*Meloidogyne incognita* / Patate douce (au Bénin)

*Tylenchorhynchus martini*/ Choux (au Sénégal)

*Hoplolaimus pararobustus* / Tomate (au Sénégal)

*Scutellonema cavanesi*/ Poivron et Tomate (au Sénégal)

*Pratylenchus sp*/ Oignon (au Sénégal)

*Xiphinema index*/ Tomate et aubergine (Au Sénégal)

*Xiphinema brevicolte*/ Céleris (Au Sénégal)

*Trichodorus minor*/ Pastèque, Poireau, Betterave, Céleris, Chou fleur, Aubergine, Tomate et Pomme de terre (Au Sénégal)

**d. Nématodes des arbres fruitiers**

*Meloidogyne sp*/ Racines des Arbres fruitiers (au Bénin)

*Pratylenchus vulnus*/ Framboisier

*Radophilus sp*/ Bananier (Au Bénin)

*Scutellonema cavanesi*/ Vine (au Sénégal)

*Xiphinema sp*/ Citrus (Au Sénégal)

*Meloidogyne incognita*/Bananier et Ananas (au Sénégal)

*Meloidogyne javanica*/Bananier et Ananas (au Sénégal)

*Meloidogyne arenaria*/Bananier et Ananas (au Sénégal)

*Tylenchulus sp*/ Citrus (au Sénégal)

**e. Nématodes des cultures industrielles**

**Sur organes aériens**

*Ditylenchus dipsaci*/ Tige de la fève (à Biskra)

**Sur racines**

*Heterodera avenae*/Colza et Tournesol (En France)

*Pratylenchus ssp*/ Sorgho et Tournesol (En France)

*Heterodera shashtii* / Colza (en France)

*Heterodera cruciferae* / Colza

*Hoplolaimus pararobustus*/ Tabac (au Sénégal)

*Scutellonema cavanesi*/ Tabac (au Sénégal)

*Meloidogyne incognita*/ Tabac

*Scutellonema sp*/ Arachide (au Sénégal)

**f. Nématodes des autres cultures**

*Meloidogyne javanica*/ Palmier dattier à Ouaragla

*Tylenchorhynchus aduncus*/ Plamier dattier à Ouaragla

*Longidorus sp* /Palmier dattier à Ouaragla

*Pratylenchus sp*/ Bananier (au Bénin)

*Radophilus similis* / Bananier (au Bénin)

*Helicotylenchus sp*/ Bananier (au Bénin)

*Meloidogyne sp*/ Bananier (au Bénin)

*Meloidogyne sp*/ Manioc (au Bénin)

## **9. Lutte contre les nématodes phytoparasites**

La lutte contre les nématodes est difficile (Fécondité élevée, Enveloppe dure du kyste, kyste reste viable même après une dormance de plusieurs années et dissémination facile (Schneider et Mugniery, 1996). Elle implique une bonne connaissance des espèces à combattre.

Les méthodes de lutte varient en fonction des espèces de nématodes et la nature de la culture, culture extensive et culture intensive. Cette dernière est très couteuse et n'est pratiquée que dans les cultures sous serre où les investissements sont assez rentables.

La lutte contre les nématodes a pour but d'améliorer le développement et le rendement des cultures. Ce résultat peut être obtenu en réduisant le nombre de nématodes présents dans le sol ou dans les plantes. Il existe plusieurs types de méthodes de lutte.

### **a. Lutte préventive ou prophylactique**

Les mesures préventives complètent les mesures curatives et visent à réduire la population des nématodes et permettent :

- L'élimination de toutes les sources de contamination ou d'infestation (Débris et restes des végétaux des cultures infestées, Outils de travail du sol où la terre adhère aux instruments et eaux de ruissèlement).
- Utilisation des semences saines.
- Analyse du sol avant toutes plantations de cultures.
- Contrôle sanitaire et traitement du matériel végétal (Plants et semences) (rousselle *et al.*, 1996).
- Les plants attaqués doivent être immédiatement brûlés.
- Choix de la date de semis (Chauvin *et al.*, 2008)

### **b. Lutte culturale**

Elles visent aussi à réduire les populations de nématodes contenues dans le sol.

Les nématodes étant des parasites obligatoires, ils ne peuvent se reproduire que sur des cultures sensibles. Par contre si l'on évite de cultiver ce type de plantes, le nombre de nématodes deviendra très faible et ils finiront par disparaître. Ce résultat peut être obtenu par des rotations et la jachère travaillée.

- **Rotation des cultures**

Dans la rotation, on alterne les cultures sensibles avec les cultures résistantes. Pendant que le terrain est occupé par ces dernières, la population de nématodes se réduit du fait que le taux de reproduction est inférieur à la mortalité due au manque de nourriture et à l'action des prédateurs, des champignons et des maladies. Au terme d'une ou plusieurs cycles de végétation, suivant les espèces de nématodes présents dans le sol, le nombre de ces nématodes parasites aura réduit à un point que le retour d'une culture sensible pourra se faire sans dommage ou presque. Mais l'année suivante il faudra reprendre la série des cultures résistantes (Netscher, 1970).

**Inconvénients :** Certaines espèces de nématodes peuvent résister même en absences de plantes hôtes jusqu'à 4 ans dans le sol. Aussi la présence des mauvaises herbes aux bordures de cultures ou des parcelles causent problème et donnent un refuge aux nématodes.

- **Jachère travaillée**

Le procédé le plus efficace est la jachère travaillée avec suppression totale (Jachère totale) de toutes végétations y compris les plantes adventices (Mugniery et Zaouchi, 1973 in Mugniery, 1982). On est sûr ainsi que les nématodes ne trouveront aucune source de nourriture et par conséquent il n'y aura pas de reproduction.

- **Labour pendant la période sèche**

On obtient de très nombreux résultats par un simple labour pendant la période sèche. Beaucoup de nématodes seront exposés à la chaleur au quelle ils ne résistent pas.

- **Variétés résistantes**

C'est l'un des meilleurs moyens pour combattre les nématodes et qui consiste à cultiver des variétés résistantes (Taylor, 1968., Cauble et Esquibet, 1995). C'est un moyen pratique conçu pour les pays en voix de développement.

c. **Lutte biologique**

On utilise les ennemis naturels pour détruire les nématodes phytoparasites. Parmi ces ennemis, on trouve les champignons, les bactéries, les Insectes (Collemboles).

Il y'a aussi l'utilisation des extraites de plantes nématicides. Capolarino *et al.*, (2009) a testé beaucoup de plantesnématicides environ 200 espèces.

En Algérie Saadi (2008)., Belaid (2007) ont utilisés Plusieurs espèces végétale dans la lutte contre les nématodes, *Artimisia herbaalba*, *Ruta graveolens* et *Lantana camara*. Ce type de méthode de lutte n'est pas en pratique vu le cou élevé de beaucoup de moyens quant à leurs utilisations.

#### **d. Lutte physique**

Les méthodes les plus courantes utilisées sont la stérilisation de la terre à la vapeur d'eau, le traitement à l'eau chaude du matériel végétal de plantation et la solarisation du sol avant sa plantation (Schneider et Mugniery, 1971., Netscher, 1970). La première est utilisée dans les cultures sous serre mais elle est très couteuse.

Le traitement à l'eau chaude des plants avant leurs transplantations consiste à tromper les plants dans de l'eau chaude tout en tenant compte de la durée de l'immersion et de la résistance du plant à la chaleur (Températures élevées).

Des tests ont été retenus pour quelques espèces de nématodes et pour quelques de types de cultures où les valeurs du temps d'immersion et les températures pour chaque culture et pour chaque espèce de nématodes ont été retenues.

Les Echalotes ont été trompées à l'eau chaude pendant 2 heures à une température de 43°C et pendant une heure à 44 °C. Les bulbes d'oignon pendant 22 Heures dans l'eau (Whithead, 1977).

#### **e. Lutte chimique**

La lutte chimique apporte une solution contre plusieurs espèces de nématodes mais seulement en cultures intensive. L'inconvénient est qu'elle présente une certaine toxicité vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine (Blanchard, 2006). Les différents modes d'application sont la pulvérisation, le trempage, l'arrosage, le traitement des graines et traitement de sol grâce aux produits chimiques nématicides.

Définition du nématicide : c'est un produit chimique utilisé pour lutter contre les nématodes.

- **Pulvérisation**

Est utilisé pour lutter contre le nématode de feuillage

- **Trempage et arrosage**

Des plantes sensibles aux nématodes de feuillage peuvent être trompées quelques secondes dans des bouillies de nématicides.

- **Traitement des graines**

Il est recommandé de semer les graines traitées aux nématicides pour éliminer les nématodes des tiges et des bulbes qui peut se maintenir dans les semences. Ces traitements ne peuvent être effectués que dans les stations de désinfection de la protection des végétaux.

- **Traitement du sol**

Cette technique a pour effet de détruire les nématodes avant la mise en place de la culture. Les produits utilisés sont des fumigants. Ils se présentent sous forme de liquide ou de granulés. Ces substances incorporées dans le sol, se vaporisent et détruisent les nématodes (Netscher, 1970).

Avant le traitement, le sol doit être bien préparé, assez humide et à une température d'au moins 10 à 15°C. Les fumigants sont injectés à une profondeur de 15 à 20 cm à l'aide d'un pal injecteur à main ou d'injecteurs portés par tracteurs. Pour une plantation fruitière le produit est injecté plus profondément. L'application doit être au moins 15 à 30 jours avant la mise place de la culture tout en respectant rigoureusement les conditions d'emploi du nématicide du fabricant.

- **Mécanisme d'action des nématicides**

Le nématicide agit contre les nématodes en bloquant le processus d'éclosion des larves et l'immobilisation des jeunes larves car leurs organes sensoriels sont déréglés.

- **Différents types de nématicides**

Dans le commerce un grand nombre de nématicides sont à base du bromure d'éthylène, chloropropane et de méthyle propène. En Algérie les produits utilisés et conseillés par l'INPV, c'est à dire les produits homologués sont :

- Un
- Deux
- Trois

Les nématicides sont utilisés pour la protection des plants en pépinière (Coyne *et al.*, 2010).

- **La méthode d'application**

Epandre et mélanger uniformément le terreau avec le produit sur une profondeur de 30 cm. Humidifier le terreau et recouvrir immédiatement à l'aide d'une bâche en plastique afin de favoriser la transformation des granulés en gaz et empêcher les vapeurs de s'échapper.

- **Protection des cultures sous serre (Désinfection des sols)**

Le produit est incorporé immédiatement dans le sol. Ensuite couvrir avec une bâche en plastique. Maintenir une humidité suffisante sans excès pendant 10 à 15 jours, ensuite aérer le sol par un travail léger.

#### **f. Lutte intégrée**

C'est l'emploi combiné de toutes les méthodes de lutte appropriées (Schneider et Mugniery, 1970):

- Méthode préventive
- Méthode culturale
- Méthode physique
- Lutte chimique

Grace à un calendrier d'application en tenant compte de plusieurs paramètres :

- Biologie du nématode
- Type de la culture : ses stades phénologiques et de développement.
- L'environnement
- Nuisibilité du nématode : degré d'infestation.
- Cout économique.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Agrios GN. 2005. Plant pathology, 5th edn. Ed. Academic Press, USA, 922 p.
2. Anonyme. 1974. Introduction à l'étude des nématodes phytoparasites. Cours photocopié, Institut de Technologie Agricole, Département de protection des végétaux, Mostaganem, 128 p.
3. Anonyme. 2012. Perspectives agricoles, n° 395, France, 2 p.
4. Belaid L. 2007. Evaluation de l'activité nématicide de quelques plantes contres *Ditylenchus dipsaci* (Nematoda : Anguinidae). Thèse de magistère en sciences agronomiques, INA, El-Harrach, 41 P.
5. Belai G. 2005. Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes par les racines. Phytoprotection, 1 :65-69

6. Blancard D, Candress T, Laterrot H et Marchoux G. 2009. Les maladies de la tomate : identifier, connaître, maîtriser. Ed. Snea, France, 690 p.
7. Blanchard A. 2006. Identification polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kystes de la pomme de terre *Globodera pallida*. Thèse de doctorat en Biologie, Université de Rennes, 186 p.
8. Blaxter M. 1998. *Coenorhabditis elegans* is a nematode. Science, Vol n° 282, 2041-2046 p.
9. Blumenthal T et Davis RE. 2004. Exploring nematode diversity. Nature genetics, 36 :2041-2046.
10. CABI et OEPP. 1990. Fiche informative sur les organismes de quarantaine : *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*, CABI et OEPP , préparé pour l'union européenne.
11. Cadet P. 1998. Gestion écologique de nématodes phytoparasites tropicaux. Cahiers Agriculture, 7 : 187-194
12. Caporalino-Djian C, Vedi K, Arrufat A. 2009. Nématodes à gales, l'atout des plantes pièges. Rev. Phytoma, Défense des cultures, n° 624, 21-25 p.
13. Caromel B. 2004. Cartographie génétique et étude de QTL conférant la résistance au nématode à kystes *Globodera pallida* (Stone) chez la pomme de terre (*Solanum tuberosum* ssp. *Tuberosum* L). Thèse de doctorat en génétique, Paris XI, Orsay, 174 p.
14. Caryol JC, Dijan-Caporalino C and Planchaud-Mattei E. 1992. Lutte biologique contre les nématodes phytoparasites. Ed. Laboratoire de biologie des Invertébrés, INRA, Antibes, 31-44 p.
15. Caubel G, Persson F et Rivoal R. 1980. Les nématodes dans les rotations céréalières. Perspectives agricoles, 36 : 31-48.
16. Caubel G et Esquibet M. 1995. Les nématodes des tiges en cultures de légumineuses. Rev. Phytoma, n° 476, 25-30 p.
17. Celletti M. 2011. Nématodes des tiges et des bulbes dans l'ail. Biologie, Symptômes et lutte. Ontario Ministry of Agriculture, Food and rural affairs, Canada, 9 p.

18. Chauvin L, Caromel B, Kerlan MC, Rulliat E, Fournet S, Chauvin JE, Grenier E, Ellisèche D et Mugniery D. 2008. La lutte contre les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *globodera pallida*. Cahiers d'Agricultures, 4 : 368-374.
19. Coyne DL, Nicol JM et Claudius-Cole B. 2010. Les nématodes des plantes : Un guide pratique des techniques du terrain et de laboratoire. Ed. Institut international d'Agriculture Tropicale (IITA), Cotonou, Benin, 93 p.
20. Donald L. LEI. 2002. The biology of nematodes. School of biology, University of Leeds, UK, 1188 P.
21. Favier B. 2012. Présentation du règne animal. Cours d'Histologie et Biologie de développement. Université Joseph Fourier, Grenoble, 37 p.
22. Fudali D, Sobczak M, Janokowqki S, Griesser M, Grundler FM et Golinowski W. 2008. Expanses are among plant cell wall modifying agents specifically expressed during developpement of nematode included Syncytia. Plant Signal.Behav, 11 : 969-971.
23. INPV, 2017. Bulletin de quarantaine, EL Harrach, Alger
24. Hugot JP, Bauyard P, Morand D. 2001. Biodiversit2 in Helminthes and nematodes as e field of dtudy : an overview nematology, 3 : 198-208.
25. Liley CJ, Urwin PE and Atkinson HJ. 999. Characterization of plant nematode genes : identifying targets for a transgenic defende. Parasitology, 118 : 63-72 p.
26. Lorenzen S. 1994. The phelogenetic systematic of free living nematodes. The ray society, London, 383 p.
27. Loridat P et Ganry J. 1989. Mise en évidence d'une interaction nématodes-champignons (*Radophilus similis*), comme composante du parasitisme tellurique en culture industrielle aux Antilles
28. Michel L, Sikora AR, Bridge g. 2005. Plant parasitic nematode in subtropical and tropical agriculture. Cabi publishing is a division of CAB International. 2nd edition, Egham, UK, 841 p.

- 29.Mugniery D. 1982. Diversité régionales d'application de lutte intégrée en culture de pomme de terre en fonction de la variabilité des populations de nématodes à kystes, INRA, Rennes, 7 : 629-644
- 30.Mugniery D. 1984. Les nématodes de la pomme de terre. Agro, Vol III, France, 45-50 p.
- 31.Netscher C. 1970. Les nématodes parasites des cultures maraichères au Sénégal. Ed. ORSTOM, Série Biologie, N° 11, 228 p.
- 32.Ouanouki F et Ighili H. 1988. Inventaire des nématodes phytophages sur les cultures maraichères et sur le Palmier dattier dans la région d'Ouargla. Annales. Institut. National. Agronomique, Vol 12, N° spécial, 184-201 p.
- 33.Oudnit R, Cherblanc G, Schneider J et Deloustal J.1962. Quatre années d'essais de traitement contre le nématode de la carotte. Phytoma, 135 : 11-15 p.
- 34.Perry RN. 1994. Studies on nematode sensory perception as a basis for nouvel control strategies. Fundamental and Applied Nematology, 3 : 199-202.
- 35.Prot JC. 1984. Introduction à la nématologie. Ed. Office de recherche scientifique et Technique Outre-Mer, Centre de Dakar-Hann, Sénégal, 66 p.
- 36.Rousselle P, Robert Y et Crosnier JC. 1996. La pomme de terre : Productions, amélioration, ennemis et maladies, utilisation. Ed. INRA, Paris, 691-704 p.
- 37.Salazar A et Ritter E. 1993. Effects of day length during cyst formation,storage time and temperature of cyst on the in vitro hatching of *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. Fundam. Applied. Nematology, 6 : 567-572.
- 38.Ruck L et Ballager Y. 2010. Les nématodes à kystes et à gales dans les écosystèmes de production avec Colza. Ed. Rencontres techniques régionales. CETIOM, France, 31 p.
- 39.Saadi H. 2014. Contribution à l'étude de la résistance variétés locales de *Vicia faba* L au nématode de *Ditylenchus dipsaci* dans la région de Biskra. Thèse de magistère en sciences agronomiques, Faculté DNV, Université Mohamed Khider, Biskra, 127 p.
- 40.Saadi I. 2008. Analyse des semences de fève (*Vicia faba*) infestées par *Ditylenchus dipsaci* (Nematoda : Anguinidae) et recherche d'une méthode de lutte contre ce nématode. Thèse de magistère en sciences agronomiques,INA, El Harach, 72 p.

41. Schneider J et Mugniery D. 1971. Les nématodes de la pomme de terre Pp : 327-348 in Ry nematodes des cultures. Journées d'étude françaises et d'information. Ed. ACTA et FNGPC, Paris, 828 p.
42. Sijmons PC, Atikson HJ and Wyss V. 1994. Parasitic strategies of Root nematodes and Associated host responses. *Annal Review of Phytopathology*, 32 : 235-259.
43. Sikora AR, Bridge J, Michel L. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical Agriculture. Cabi Publishing is a division of CAB International. 2nd Edition Egham, UK, 841 p
44. Smant G, Govere A, Stokkermans JP, De Boier JM, Pomp HR, Zilverentant JF, Overmars HA, Helder J, Schots and Bakler J. 1997. Potato root diffusate-induced secretion of soluble, basic proteins originating from the subventral oesophagead glands of potato Cyst nematodes. *Phytopathology*, 8 : 839-845.
45. Taylor AL. 1968. Introduction à la recherche sur les nématodes phytoparasites. Ed. Manuel FAO, Rome, 135 p.
46. Tobin JD, Haydock PPJ, Hare MC, Woods and Rumps DH. 2008. Effects of the fungus *Pochonia chlamydosporia* and fosthiazate on the multiplication rate of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*) in potato crops grown under us field conditions. *Biological control*, 46 : 194-201.
47. Trifonova et Kardjova, 2003., Tobin et *al.*, 2008., Belair, 2005., Belaid, 2007., Roger, 1990) et les macro-nématodes.
48. Trigiano RN, Windham MT and Windham AD. 2004. *Plant Pathology : Concepts and laboratory exercises*. Ed. CRC press, Wadhington, 702 p.
49. Turner SJ et Row RE. 2006. Cyst nematodes Pp 91-121 in Roland NP et Meones M. *Plant nematology*. Ed. CABI, London, 436 p.
50. Whithead AG. 1987. Variation in the development of stem nematode, *Ditylenchus dipsaci*, in susceptible and resistant-Crop plants. *Annals of Applied Biology*,.....
50. Yepsen RB. 1984. *The Encyclopedia of Nature Insect ans diseases control*. Rev : Rodale Press, Emmans, 267-271 p.

Annexes

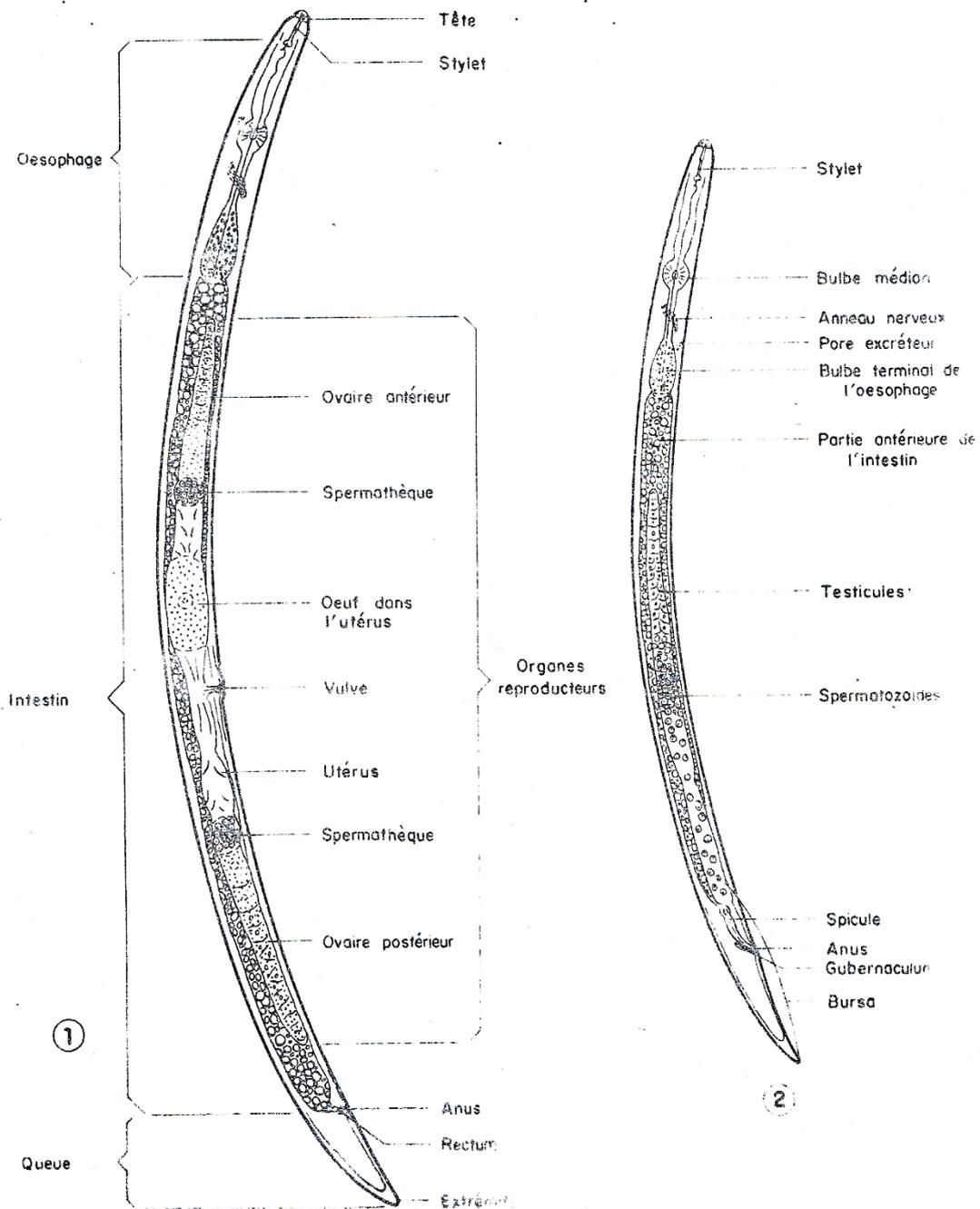


Figure 1 : Anatomie d'une femelle de nématode phytoparasite

Figure 2 : Anatomie d'un male de Nématode Phytoparasite

(Anonyme, 1974)\*

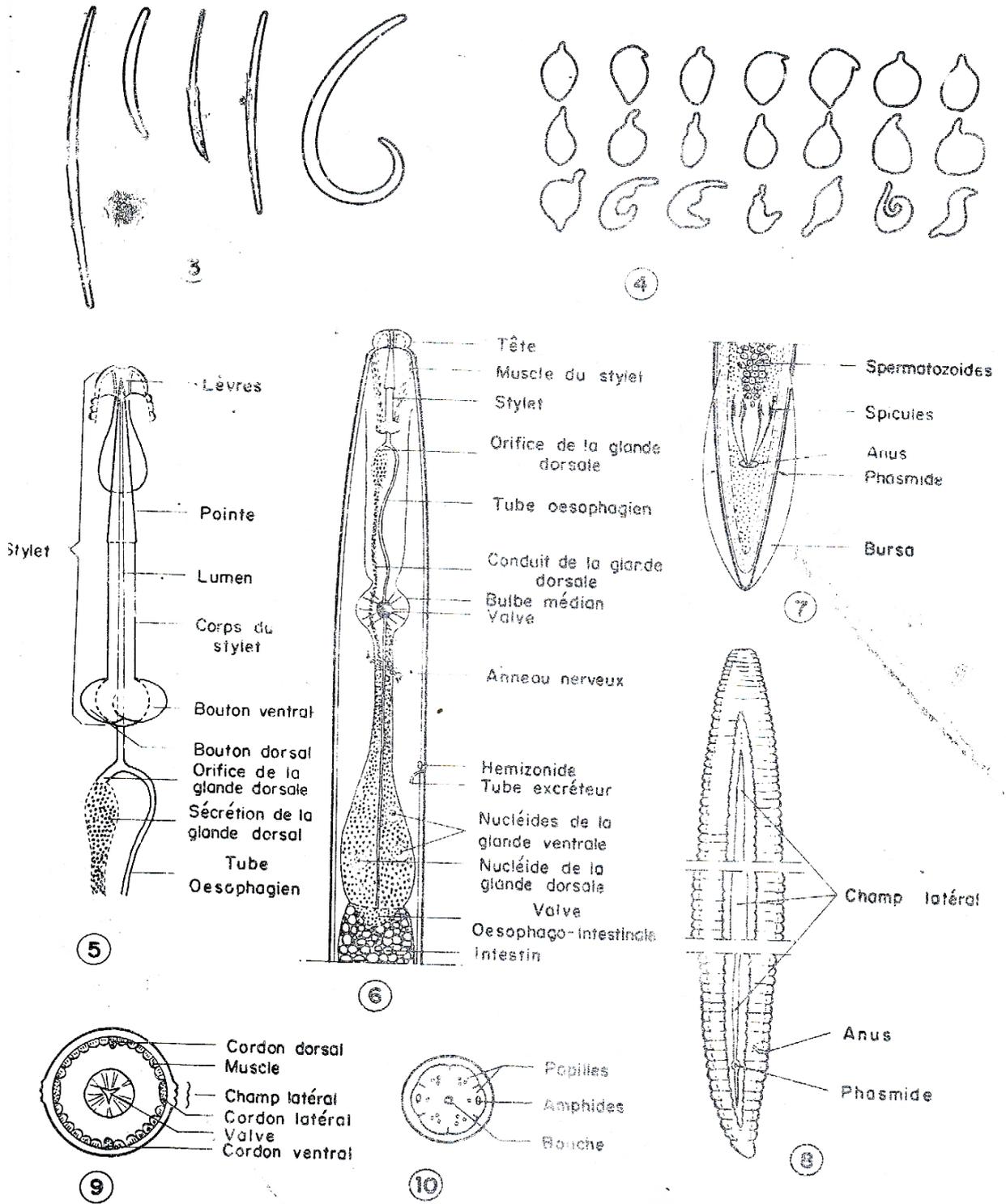


Figure 3 : Différents types de nématodes allongés et vermiformes

Figure 4 : Différentes formes de nématodes femelles allongées à corps volumineux

Figure 5 : Stylet d'un nématode phytoparasite

Figure 6 : Extrémité antérieure d'un nématode phytoparasite

Figure 7 : Vue ventrale de la queue d'un nématode male

Figure 8 : Coupe de la cuticule à l'extrémité postérieure du nématode

Figure 9 : Coupe transversale d'un nématode au milieu du bulbe médian de l'oesophage

Figure 10 : Coupe transversale d'un nématode au niveau de la tête (Anonyme, 1974)



*Pratylenchus* (filiforme)



*Helicotylenchus* (filiforme/spiralé)



*Rotylenchulus* (réniforme)



*Heterodera* (forme de citron)

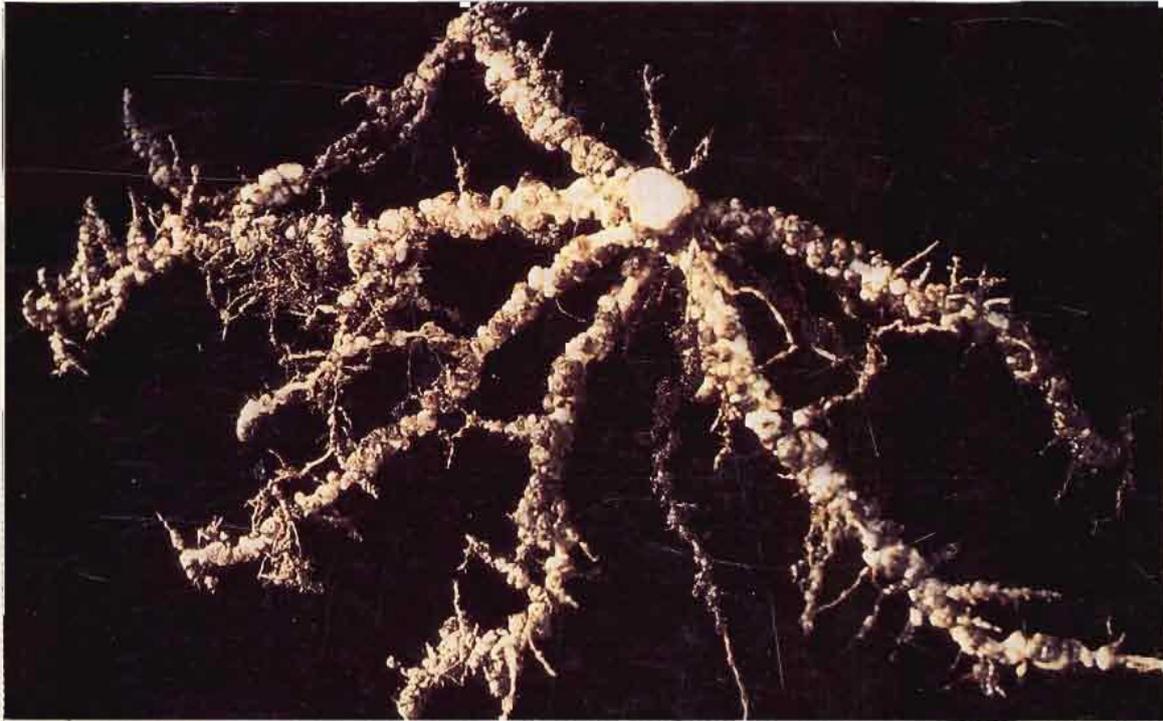


*Tylenchulus* (en forme de poire)

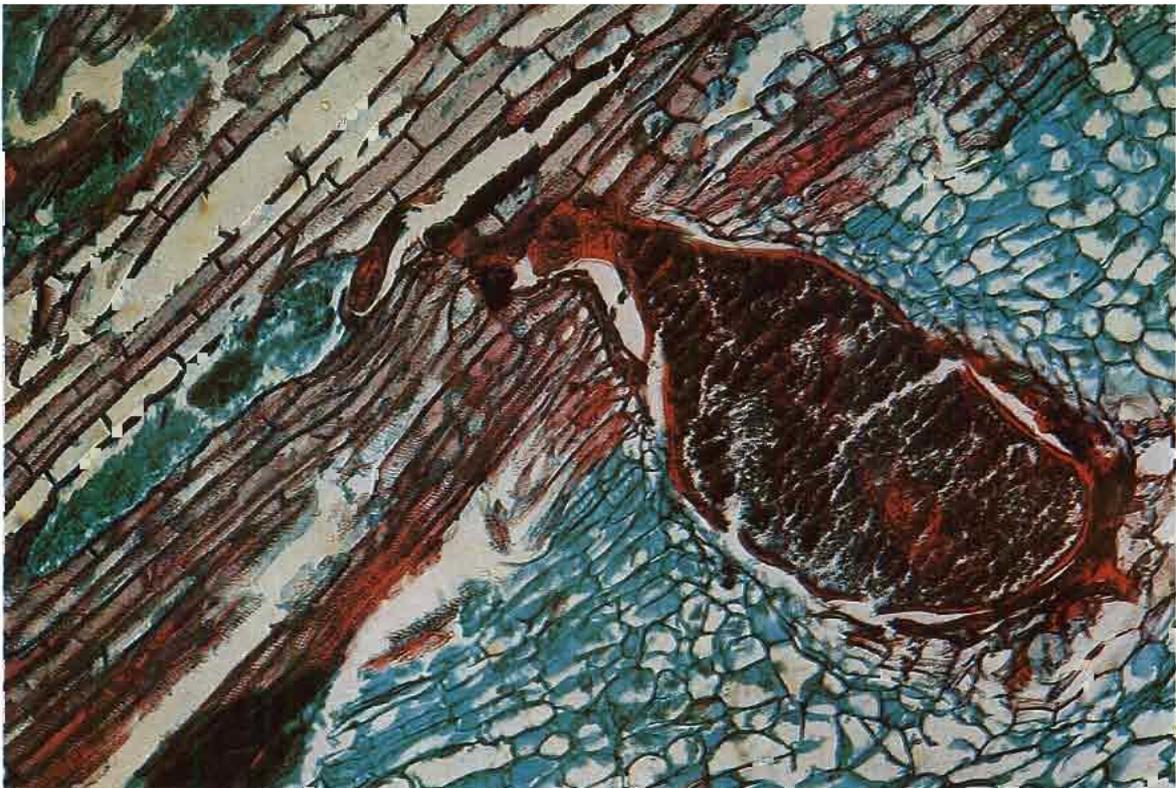


*Meloidogyne* (forme de gourde sphérique)

**Figure. Différentes espèces de nématodes observées à travers le microscope.**  
(Coyne et al, 2010)



Présence de gales sur les racines de tomate (Ayadi f-f, 2015)



Femelle de Meloidogyne dans les tissus racinaires vue au microscope  
(Ayadi f-f, 2015)



Présence de gales sur le système racinaire d'un plant de Pomme de terre

(Ayadi f-f, 2015)