

Chapitre 2 : Les nématodes (Nématologie)

Plan de travail

Introduction

1. Les nématodes et l'agriculture

1.1. Importance de la classe des nématodes

1.2. Caractères particuliers des nématodes phytophages

1.3. Caractères morphologiques des principaux genres et familles de nématodes phytophages (*Tylenchida* et *Dorylaimida*)

1.4. Nature des dégâts causés aux plantes

1.5. Rôle des nématodes dans la dissémination et le développement des maladies des plantes

2. Les nématodes et les cultures

2.1. Le nématode des tiges et des bulbes

2.2. Les nématodes des grandes cultures

2.3. Les nématodes des cultures maraîchères

2.4. Les nématodes des cultures florales

2.5. Aperçu sur quelques nématodes des cultures tropicales

Introduction

- La Nématologie est la discipline scientifique qui s'intéresse à l'étude des nématodes
- Elle prend place à côté de disciplines telles que l'Entomologie agricole, la Mycologie, la Virologie et la Bactériologie, l'ensemble constituant la Phytopathologie
- Les nématodes appartiennent à l'embranchement des Némathelminthes ou anciens «vers ronds»
- Cet embranchement compte une seule classe en l'occurrence les nématodes
- Certains sont libres, d'autres sont parasites de l'homme, des animaux ou des végétaux

1. Les nématodes et l'agriculture

1.1. Importance de la classe des nématodes

- les nématodes libres qui se nourrissent de matière organique en décomposition semblent plutôt avoir un rôle bénéfique en participant au processus de décomposition
- Les nématodes parasites d'insectes peuvent avoir une influence positive en limitant les pullulations d'insectes nuisibles
- Les nématodes zoo parasites vivant aux dépens de l'homme et des animaux domestiques ont une très grande importance économique, leur étude se fait dans le cadre de la parasitologie
- Les nématodes phytoparasites ou parasites des plantes cultivées, présentent une très grande importance économique, c'est leur étude entre autres qui fait l'objet de la nématologie

1.2. Caractères particuliers des nématodes phytophages

- Les nématodes, en général, sont des organismes vermiformes cylindriques constitués d'un corps longitudinal non segmenté
- Les nématodes phytophages peuplent exclusivement le sol
- Ils colonisent essentiellement les racines mais également les tiges des plantes cultivées
- Morphologiquement, ils se distinguent des autres groupes trophiques par la présence à la partie antérieure de tube digestif, d'un **stylet** perforant suivi d'un canal œsophagien aboutissant à un bulbe musculeux, pompe aspirante et refoulant (Fig. 19)
- 1 fois la plante perforée par le stylet, des enzymes digestifs produits par les glandes salivaires y sont injectés par cette pompe, laquelle, ensuite, aspire le produit de la digestion et le déverse dans l'intestin
- Certains sont des parasites **obligatoires**, d'autres sont des parasites **facultatifs**
- En fonction de la stratégie parasitaire du nématode c'est-à-dire ectoparasite, endoparasite ou ecto-endoparasite, le stylet pourra avoir une forme et une longueur différente

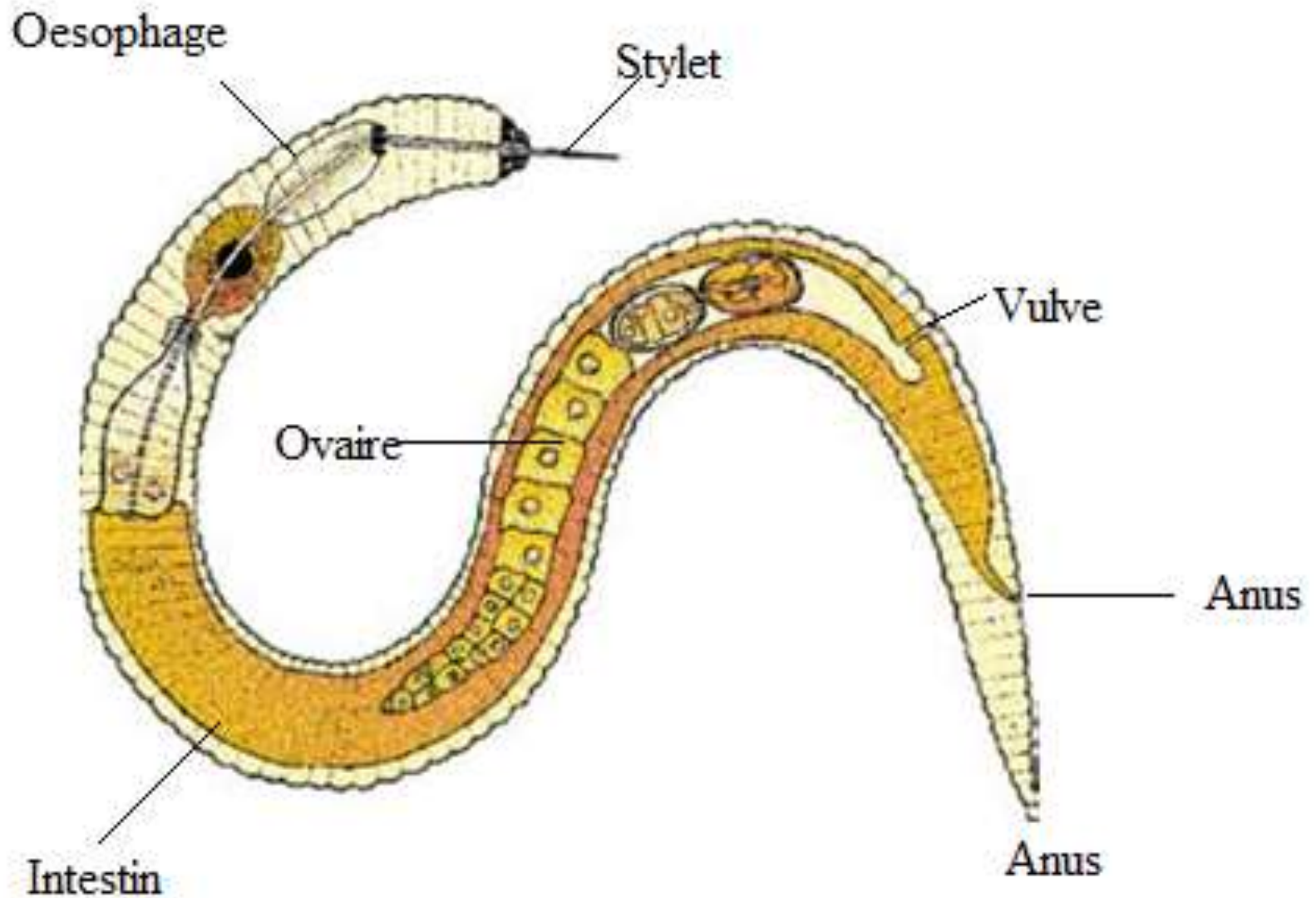


Figure 20. Schéma d'un nématode phytoparasite

1.3. Caractères morphologiques des principaux genres et familles de nématodes phytophages

- appartiennent à 4 ordres principaux: Triplonchida, Aphelenchida, Tylenchida, Dorylaimida
- Dorylaimidae sont caractérisés par:
 - phasmides -
 - stylet sans boutons basaux
 - annelation de cuticule -
 - œsophage fortement muscularisé, sans bulbe médian et avec 5 cellules glandulaires
- Tylenchidae se distinguent par:
 - Phasmides +
 - stylet avec boutons basaux
 - annelation de la cuticule +
 - œsophage faiblement muscularisé en 3 ou 4 parties (procorpus, bulbe médian, isthme, bulbe-basal)
 - débouché de glande dorsale situé juste en arrière du stylet
 - présence de 3 cellules glandulaires
 - parasitent essentiellement les racines
- l'ordre le plus important et provoquant le plus de dégâts sur les végétaux est celui des Tylenchida
- composé de 9 familles dont les + importantes sont: **Heteroderidae** = nématodes à kystes et **Meloidogynae** = nématodes à galles

Clé des nématodes phytoparasites d'après (Dubois, 2019)

1- si le stylet est-il présent ?

1.1- OUI : il s'agit d'un nématode parasite de plante (2)

1.2- NON : il ne s'agit pas d'un nématode parasite de plante

2- Le bulbe œsophagien médian est-il présent ?

2.1- OUI (5)

2.2- NON (3)

3- : la taille du corps ?

3.1-Inférieur à 1mm avec un petit stylet incurvé, il s'agit du genre *Trichodorus* (Parasites de racines trapues)

3.2-Supérieur à 1mm avec un long stylet droit (4)

4. présence de brides de stylets ?

4.1- OUI : il s'agit du genre *Xiphinema*

4.2- NON : il s'agit du genre *Longidorus*

5- quel est la forme du corps ?

5.1-Enflée : Il s'agit des genres *Heterodera* et *Globodera* si l'on retrouve des kystes et du genre *Meloidogyne* si l'on retrouve des nœuds (galles) au niveau des racines

5.2-Vermiforme (6)

6- présence d'anneaux ?

6.1-OUI : il s'agit du genre *Mesocriconemella*

6.2-NON (7)

7- quel est la forme de la queue ?

7.1-Arrondie (9)

7.2- Pointue (8)

8- taille du corps ?

8.1-Supérieur à 1mm : il s'agit des genres *Hemicycliophora* et *Ditylenchus*

8.2- Inférieur à 1 mm : il s'agit des genres *Paratylenchus*, *Pratylenchus* et *Radopholus*

9- Présence de boutons au niveau du stylet ?

9.1-OUI : il s'agit des genres *Noplolainus*, *Belonolaimus* et *Scutellonema*

9.2- NON : il s'agit des genres *Aphelenchus* et *Aphelenchoides*

1.4. Nature des dégâts causés aux plantes

- Les problèmes phytosanitaires causés par ces ravageurs ont une incidence économique très importante à l'échelle mondiale, car ils s'attaquent aussi bien aux grandes cultures qu'aux cultures maraîchères, florales et fruitières
- Il est globalement reconnu que les nématodes phytoparasites réduisent la production agricole d'approximativement 11% , soit une perte de récolte de plusieurs millions de tonnes chaque année
- en Europe, ils sont responsables de dégâts atteignant 10% de la production céréalière et entraînent des diminutions de récoltes de 20 à 30% dans les vergers d'agrumes méditerranéens
- Les dommages qu'ils provoquent aux USA représentent annuellement 6 milliards de dollars
- Dans les régions tropicales et tempérées chaudes, très favorables à leur développement, ils constituent l'un des principaux ennemis des plantations et cultures de Caféier, Cotonnier, Bananier, Ananas, Maïs, Sorgho, etc., bases principales du développement de ces pays
- Les sp les + répandues et causant les + gros dégâts dans le monde appartiennent au genre *Meloidogyne* (Anguillule ou de Nématode à galles des racines)
- Tous les nématodes phytopathogènes sont pourvus d'un stylet buccal creux leur permettant de piquer les cellules végétales afin d'en absorber le contenu et d'y injecter des sécrétions salivaires

- La nature des dégâts diffère d'un genre à l'autre
- les symptômes types sont:
 - rabougrissement, nanisme, jaunissement, flétrissement et déformations foliaires pour le genre *Ditylenchus*,
 - galles pour *Meloidogyne*
 - déformations racinaires pour *Belonolaeimus*
 - kystes pour *Heterodera*
 - pourritures racinaires pour *Pratylenchus*.
- dégâts directs causés par les nématodes phytopathogènes: affaiblissement de plante
- dégâts indirects: aggravation et transmission de maladies à champignons et à virus
- on distingue les nématodes des racines, dont tout le cycle a lieu dans le sol, certains étant mobiles à tous les stades et parasites externes (*Tylenchus*) ou internes (*Pratylenchus*), d'autres sédentaires: Nématodes à kystes (*Heterodera*, *Globodera*), des Nématodes à galles (*Meloidogyne*) et Nématodes des parties aériennes, - nombreux (*Ditylenchus*, *Aphelenchoides*)

1.5. Rôle des nématodes dans la dissémination et le développement des maladies des plantes

- Les blessures causées aux cellules des racines fournissent une opportunité pour les autres pathogènes (bactéries, champignons, virus) de s'introduire dans les racines
- Les nématodes appartenant au genre *Xiphinema* sont tous d'importants vecteurs de virus
- Si ce nématode transporte avec lui des particules virales, le seuil nuisibilité est réduit à quelques individus seulement/100 cm³ de sol, puisqu'1 seul nématode sera suffisant pour transmettre le virus
- Les nématodes du genre *Xiphinema* sont tous vecteurs des NEPO virus (Nématode Polyhedral particles) ce qui comprend des virus comme les virus de la tache annulaire du tabac (TRSV) et de la tomate (TmRSV)
- Le nématode des lésions *Pratylenchus penetrans* peut avoir des effets additifs et synergiques avec d'autres organismes pathogènes du sol comme *Verticillium albo-atrum* et *V. dahliae* notamment chez la famille des Solanacées
- certains Népovirus comme *Xiphinema index* et *X. italiae* vecteur du court noué de la vigne, sont transmis par les nématodes

Les nématodes et les cultures

2.1. Le nématode des tiges et des bulbes

- L'sp la + connue est *Ditylenchus dipsaci*
- peut attaquer aussi bien parties supérieures (tiges) que parties inférieures des plantes (bulbes) comme oignon ou autres
- Il utilise des films d'eau pour remonter la tige de la plante
- L4 pénètrent la plante par tissus végétaux des tiges ou des bulbes
- les larves peuvent remonter et pénétrer les pousses par l'intermédiaire de bourgeons, de pétioles ou de stomates
- 1 fois dans plante hôte, les larves muent en adultes qui se reproduisent, se nourrissent en tant qu'endoparasites migrants et détruisent les différents organes infectés (fig.20)

Nématode des tiges et bulbes

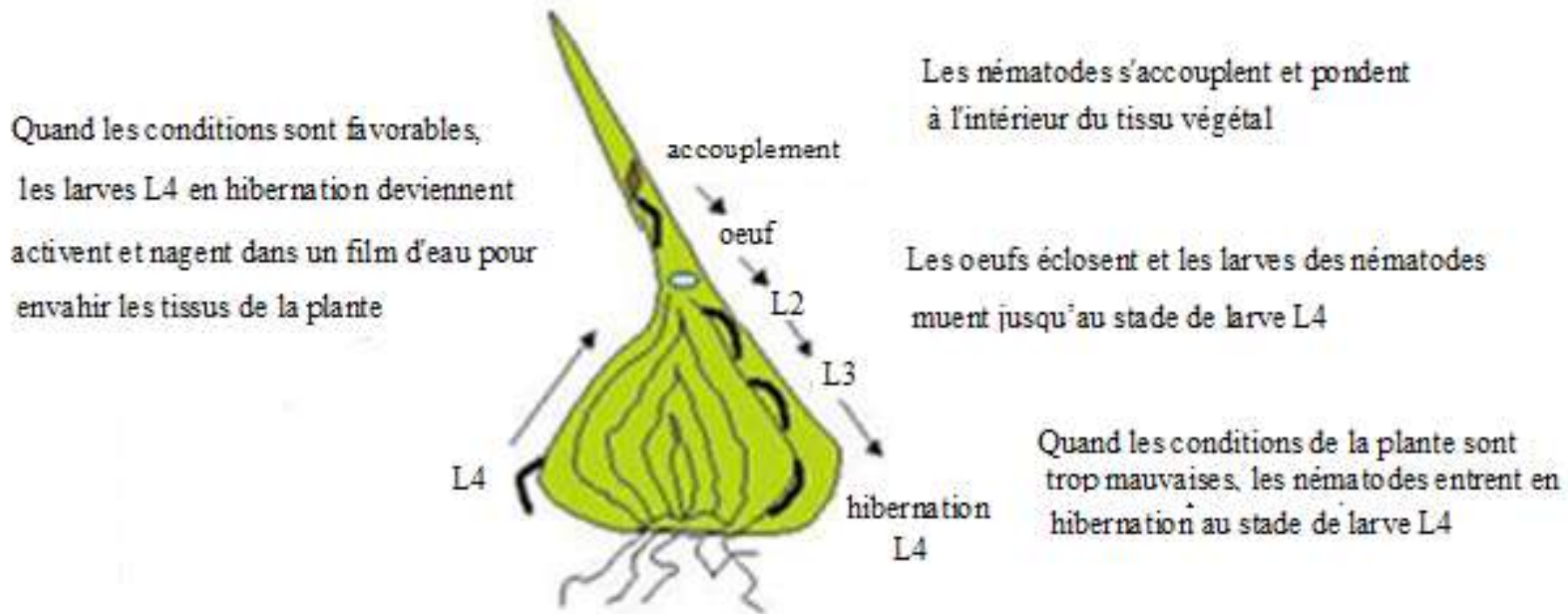


Figure 21. Schéma d'un bulbe infecté par des nématodes

2.2. Les nématodes des grandes cultures

- Le nématode des céréales par excellence est *Heterodera avenae*
- Des chutes de rendement de blé et d'orge suite aux attaques de ce nématode sont rapportées un peu partout dans le monde
- Les chutes de rendement au Maroc étaient de l'ordre de 40 à 50%, 20 à 40% en Australie et 50% aux USA
- *H. avenae* est 1 agent pathogène particulièrement nuisible à la culture du blé dur en Tunisie
- Les hôtes d'*H. avenae* sont principalement les graminées incluant les céréales d'importance économique: avoine, [blé tendre](#), [blé dur](#), [orge](#), et seigle
- Les [1^{ers} symptômes](#) sont visibles à partir du tallage des [céréales](#)
- Les plantes sont chétives et l'extrémité des feuilles rougit dans certains cas.

- Le système racinaire est peu développé, avec prolifération de radicelles épaisses et courtes à partir de «nœuds» qui correspondent aux sites de pénétration des larves infectieuses
- Certaines plantes disparaissent en cas de fortes attaques
- A l'épiaison, des petites boules blanches peuvent être observées au niveau des racines
- L'infestation par les larves occasionne 1 développement superficiel du système racinaire du blé qui pénalise la croissance et la production des plantes dans le cas de précipitations insuffisantes
- les baisses de la production du blé résultent de l'altération des paramètres du rendement (nombre d'épis, nombre de grains/épi, poids de 1000 grains) qui sont fortement corrélées aux densités initiales du nématode
- Il est généralement admis que les caractéristiques granulométriques des sols sont des facteurs d'aggravation des dégâts notamment quand les sols sont de structure légère

2.3. Les nématodes des cultures maraîchères

- Les cultures maraîchères sont attaquées par 1 grand nombre de nématodes
- les nématodes à galles du genre *Meloïdogyne* sont probablement les + graves ennemis des maraîchers sous toutes les latitudes
- Les nématodes de ce genre constituent l'un des principaux facteurs limitant le développement et la rentabilité des cultures maraîchères
- Ils sont considérés comme étant les sp les + répandues et causant les + gros dégâts dans le monde
- Ils s'attaquent à la plupart des légumes avec 1 certaine prédilection pour les cucurbitacées (melons, concombres ...), les solanées (tomates, aubergines, poivrons ...) et les composées (laitues, chicorées)
- les dommages qu'ils occasionnent aux USA sur fruits et légumes sont évalués à 6 milliards de dollars /an
- Les chutes de rendement sont rarement sensibles la 1^{ère} année d'infestation (population de nématodes trop faible)
- Par contre, si les cultures sensibles se succèdent pendant 2 ou 3 ans, la récolte peut se trouver gravement compromise dès la 3^{ème} année et les chutes de rendement peuvent atteindre 50 % en maraîchage

- Le genre *Meloïdogyne* se subdivise en de nombreuses sp, dont les + répandues sont: *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* et *M. javanica*
- La forme de dissémination est la L2, elle se déplace dans le film d'eau recouvrant les particules de sol
- Cette larve s'insinue dans la racine jusqu'aux faisceaux vasculaires qu'elle pique de son stylet
- Elle se nourrit de la sève et perturbe la multiplication des cellules de la racine
- Ceci aboutit à la formation d'1 galle
- La larve s'hypertrophie (Fig.21) en évoluant par les stades L3 et L4 pour aboutir à la forme adulte sexuée
- Le mâle reste filiforme et quitte la racine alors que la femelle, incapable de se mouvoir, reste incluse dans les tissus
- Elle devient piriforme et continue à se nourrir aux dépens de la plante
- 1 fois fécondée, elle pond les œufs à la surface de la racine (~ 300 œufs/masse)
- Les œufs sont la forme de résistance, leur évolution passe par la forme L1 qui reste incluse dans l'enveloppe de l'œuf
- Au stade L2, la larve sort de l'œuf et va coloniser de nouvelles racines
- La durée de ce cycle est très variable selon les conditions externes (de 3 à 8 semaines à 25°C)



Figure 22. *Meloidogyne* (forme de gourde sphérique

- Les symptômes d'une attaque de *Meloïdogyne* sont caractéristiques et aisés à remarquer
- Ils provoquent un rabougrissement des plants, un flétrissement, une chlorose, une réduction de croissance et petits fruits de mauvaise qualité et parfois mort de plante
- Mais le symptôme particulier de ces nématodes sont les galles qui se forment sur le système racinaire de la plante (Fig.22)
- ces galles varient considérablement selon l'espèce de *Meloïdogyne*, la culture et le cultivar, et parfois sont observables sur racines et sur tubercules



Figure 23. Déformation massive et regroupement de galles sur le système racinaire de légumes attaqués par *Meloidogyne* spp

- autres nématodes: *Globodera rostochiensis* appelé aussi nématode doré de la pomme de terre et *G. pallida* sont considérés comme étant parmi les principaux parasites obligatoires de la pomme de terre, de la tomate et de l'aubergine causant des dégâts considérables sur la culture de pomme de terre
- Actuellement, *G. pallida* et *G. rostochiensis* sont définis comme des organismes de quarantaine
- ils provoquent des dégâts aux pommes de terre pouvant entraîner 1 baisse de rendement jusqu'à 20%
- Ce nématode a été signalé d'abord dans le littoral algérois en 1954, ensuite il a été disséminé dans plusieurs wilayas du pays dont les + importantes sont Ain Defla, Tipaza, Chlef, Mascara et Sétif
- Biologiquement, ces nématodes sont des endoparasites sédentaires.
- Ils passent par des stades juvéniles et un stade adulte
- La M1 a lieu dans l'œuf, Les L2 pénètrent par la zone d'élongation racinaire et progressent ensuite directement vers le cylindre central, détruisant les cellules corticales, pour arriver jusqu' en endoderme
- La lyse des parois situées entre ces cellules entraîne la formation d'1 cellule géante multi nucléé, à cytoplasme dense, appelé syncytium

- Les L2 se transforment ensuite en L3 et L4, avant de muer en adultes
- Les mâles filiformes redeviennent mobiles
- Les femelles restent en place et grossissent jusqu'à faire éclater l'épiderme de la racine. leur cuticule se transforme en kyste protégeant ainsi 200 à 1200 œufs (Fig. 23)
- les L2 peuvent rester viables jusqu'à 20 ans dans l'enveloppe protectrice du kyste
- On n'observe qu'1 F/an chez *G. pallida* et 1 à 2 chez *G. rostochiensis*
- Les symptômes associés au nématode doré ne sont pas spécifiques
- Ils peuvent être confondus avec ceux liés à 1 manque d'eau ou à 1 carence en minéraux
- Il peut y avoir jaunissement, flétrissement ou mort du feuillage, ce qui peut résulter en des tubercules de petite taille
- De plus, les dégâts occasionnés par les nématodes entraînent 1 déficience hydrique et 1 dérèglement du métabolisme nutritionnel



Figure 24. Racines de pomme de terre avec des femelles blanches de *G. rostochiensis* attachées tout au long de la surface des racines et leur donnant cette apparence perlée

2.4. Les nématodes des cultures florales

- Le principal genre de nématode rencontré sur cultures florales est *Pratylenchus* (Fig.24)
- Les principales sp sont *P. penetrans* sur bégonia, cyclamen, narcisse, conifère, *P. vulnus* sur lis, *P. pratensis* sur, muguet et *P. scribneri* sur chrysanthème



Figure 25. *Pratylenchus*

- ces nématodes peuvent conduire à des pourritures de racines à travers des migrations importantes, entraînant nécroses et mort de tissus végétaux et racines
- Fréquemment, des infestations bactériennes et fongiques se développent secondairement et contribuent au pourrissement
- L'autre genre rencontré est *Aphelencoïdes*, ce sont des nématodes ecto ou endoparasites
- Ils parasitent les feuilles, les bourgeons et les méristèmes des cultures ornementales
- ces nématodes hibernent dans sol, feuilles mortes et organes aériens des plantes contaminées
- A leur reprise d'activité, ils rejoignent les feuilles en se déplaçant à la surface des feuilles, à la faveur d'un film d'eau et pénètrent par les stomates (Fig.25)
- l'activité alimentaire des nématodes provoque une chlorose et une nécrose intraveineuses caractéristiques de la feuille, qui finissent par la tuer

- le genre *Aphelenchoides* provoque des stries, 1 blanchissement et 1 décoloration des feuilles
- les plantes souffrant de stress d'origine biotique ou abiotique comme 1 attaque fongique ou 1 faible disponibilité en eau peuvent subir de sérieux dommages
- sur cyclamen, l'invasion de ces nématodes se traduit par des taches jaunâtres puis brunes ou noirâtres selon les plantes, très caractéristiques car nettement limitées aux nervures principales
- Les feuilles se dessèchent, s'affaissent grillées et noircies tout en restant attachées aux tiges
- Les attaques commencent par les parties basses ou par les parties hautes puis progressent pendant les périodes humides
- La plante connaît alors 1 ralentissement de croissance
- On observe aussi 1 épanouissement irrégulier des fleurs qui prennent 1 aspect brûlé

Les nématodes se déplacent d'une feuille à l'autre en détruisant les cellules de la plante et provoquent des lésions

Les nématodes pénètrent dans les feuilles : à travers le stomate et pondent dans les feuilles. Les oeufs éclosent et les nématodes muent 4 fois pour former des adultes à l'intérieur des feuilles

Les nématodes adultes nagent sur la plante dans un film d'eau.

Les nématodes adultes subissent une cryptobiose pour survivre à l'hiver

adulte sortant de leur dormance

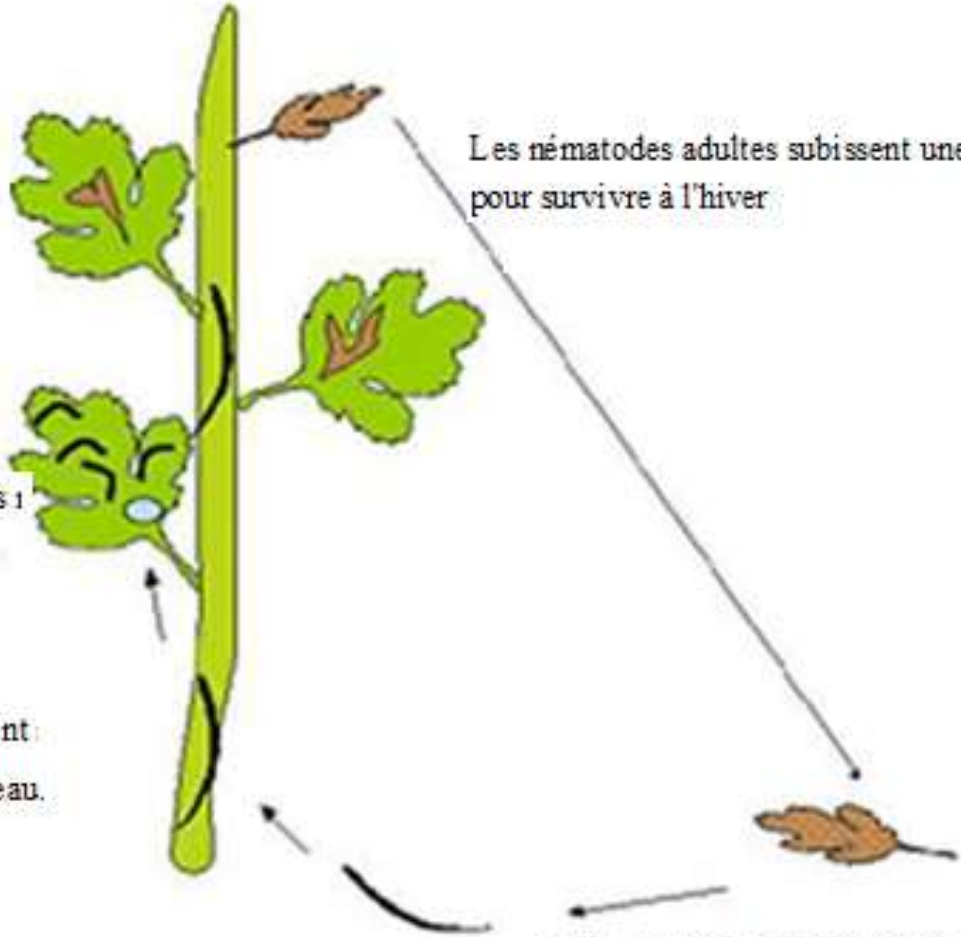


Figure 26. Schéma d'une plante infectée par des nématodes foliaires

2.5. Aperçu sur quelques nématodes des cultures tropicales

- Les cultures tropicales comme le bananier, le cocotier, ou le manguier sont souvent attaqués par les nématodes
- Au Sénégal, les racines du papayer sont souvent attaquées par *Meloidogyne javanica*
- Le bananier est attaqué surtout par *Radopholus similis*
- Cette espèce de nématodes endoparasites est très répandue dans les bananeraies
- ce nématode est rencontré pour la 1^{ère} fois en Côte d'Ivoire et en Guinée en 1934 puis au Antilles en 1939 et en Madagascar en 1947 puis au Cap vert et au Sénégal en 1951
- les bananiers attaqués par ce nématode présentent les symptômes suivants: Au début, les feuilles de la périphérie commencent à jaunir et la plante reste + ou - chétive avec 1 développement très retardé (Fig.26)
- Si l'on examine les racines, l'on s'aperçoit que beaucoup d'entre elles sont entièrement brunes et pourries
- Les racines encore fonctionnelles présentent de multiples taches violettes, brunes ou noirâtres, qui sont autant de nécroses des tissus radiculaires où pullule le parasite
- *R.similis* peut également parasiter d'autres plantes : canne à sucre, ananas, patate douce, pois d'Angol etc.



Figure 27. Chute d'un plant de bananier causé par *Radopholus similis*