



**DEPARTEMENT D'AGRONOMIE**

Mémoire de fin d'études

Présenté par

AZZOUZ Yassine & BABAOUMOUSSA Aissa

Pour l'obtention du diplôme de

Master en Agronomie

**Spécialité : Protection des cultures**

Thème

**Etat d'infestation de quelques parcelles de céréales par le nématode à kyste  
*Heterodera* sp. et moyens de lutte biologique**

Soutenu publiquement le **30/06/2016**

Devant le Jury:

Président :	Mr DEBBA Mohamed El Bachir	MAA Univ. Mostaganem
Encadreur :	Mr MAHIOUT Djamel	MAA Univ. Mostaganem
Co-encadreur :	Mr SMAHA Djamel	Doctorant INPV Alger
Examineurs :	Mr. ALLILI Abdelkrim	MAA ENSA Mostaganem

*Thème réalisé à l'INPV d'Alger*



## REMERCIEMENTS

Ce travail réalisé dans les structures de l'Institut National de la Protection des Végétaux d'Alger n'aurait pas pu se faire sans l'aide de quelques personnes.

Avant d'exposer les résultats de ce travail, nous voudrions exprimer notre respectueuse reconnaissance aux responsables de l'INPV pour les facilités qu'ils ont bien voulu nous accorder pour sa réalisation.

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur MAHIOUT Djamel, Maître Assistant A à l'Université de Mostaganem, pour avoir accepté de nous encadrer. Ses conseils et ses orientations nous ont été très bénéfiques pour la réalisation de ce mémoire, qu'il soit rassuré de notre profonde gratitude.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur SMAHA Djamel, Chef de Service du Laboratoire Central de Nématologie à l'INPV d'Alger, d'avoir accepté de co-diriger ce travail, pour sa disponibilité, ses conseils et ses encouragements tout le long de la période du stage.

Nous n'oublierons jamais le bon accueil et les facilités que nous a accordés Monsieur DJEBAILI Fayçal, Directeur de la Station Régionale de la Protection des Végétaux d'Alger, qu'il soit rassuré de notre profonde gratitude.

Il nous est particulièrement agréable de manifester notre profonde gratitude et toute notre reconnaissance à Monsieur DEBBA Mohamed El Bachir, Maître assistant « A » à l'Université de Mostaganem, qui, malgré ses charges, a eu l'amabilité d'accepter de présider ce jury.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que nous fait Monsieur ALLILI Abdelkrim, Maître assistant « A » à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Mostaganem, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Nous voudrions témoigner toute notre gratitude à Madame ASSOUS Rosa, Ingénieur, chargée des Analyses mycologiques, à l'INPV, pour son aide précieuse dans l'identification des champignons et pour tout le temps précieux qu'elle nous a consacré, à Madame OUASSA Amel, Chargée des Analyses au Laboratoire de Nématologie de l'INPV d'Alger, pour son aide précieuse et ses encouragements. Ce fut un immense plaisir de travailler avec elles.

Nos remerciements vont également à Madame HAMDI Sihem, Chef de Service du Laboratoire Central de Mycologie à l'INPV d'Alger, qui nous a soutenus tout le long de la période du stage. Nous ne saurons oublier Monsieur TAMEGLIT Mourad, Ingénieur de Laboratoire au CNCC, pour sa précieuse aide et son soutien moral.

Nous exprimons notre vive gratitude à Monsieur HAZANE Khelifa, Contrôleur phytosanitaire à la SRPV d'Alger, pour son aide, ses encouragements et ses conseils précieux, Monsieur ADIMI Amine, Ingénieur d'Etat à la SRPV d'Alger, pour son aide précieuse, à Madame SELLAMI Sabrina, pour ses conseils, à Mademoiselle BOUGUERZI Malika, Chargée des Analyses bactériologiques à l'INPV, pour sa précieuse collaboration dans la détermination des bactéries, ainsi que sa collègue, Madame DJAOUD Zahira, Chargée des Analyses bactériologiques, à Monsieur ALLILI Dahmane, Ingénieur d'Etat à la SRPV d'Alger, pour son soutien moral et Monsieur BELATRECHE Mohamed, pour la réalisation de l'analyse statistique.

Enfin, à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail qu'ils trouvent ici nos sincères reconnaissances.

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à*

*Mes chers parents*

*Qui sont ma raison de vivre et qui m'ont entouré de tous*

*Soins imaginables pour atteindre à cet aboutissement*

*Je ne trouverai jamais de mots pour vous exprimer mon profond*

*Attachement et ma reconnaissance pour l'amour,*

*À mes chères soeurs et à mes aimables frères Daoud, Omar*

*Mohamed, Rostom et Salah*

*À toute ma famille*

*À ma chère fiancée, et à sa famille*

*À la famille Khebiti*

*À mes très chers amis : Abdelouahab , Djaber, Brahim*

*Enfin, je le dédie à mes collègues de la promotion 2015/2016*

*BABAOUMOUSSA Aissa*

## *Dédicaces*

*Je dédie cette humble mémoire aux deux êtres que j'aime le plus au  
monde*

*Mon père et ma mère, pour leur amour et leur sacrifice.*

*A mes frères et soeurs à qui je souhaite une vie pleine de bonheur et  
de réussite.*

*A toute la famille DJEBBAR, KIRAD et DJELOULI.*

*A tous mes amis qui m'ont encouragé et qui m'ont entouré d'amour  
que*

*Dieu les garde et les protège.*

*A l'ensemble des enseignants et étudiants du Département des  
Sciences Agronomiques.*

*A mes amis de l'Université Abdelhamid Ben Badis*

*A tous ceux qui m'aiment et que j'aime.*

*AZZOUZ Yassine*

# Résumé

L'étude de l'état d'infestation des parcelles de céréales au niveau de quelques wilayas d'Algérie par le nématode à kystes *Heterodera sp.* montre que toutes les communes prospectées sont infestées par ce parasite. Par ailleurs, les valeurs des densités (nombre de kystes/100 g de sol) ne reflètent pas l'état d'infestation réelle d'une parcelle. En effet, nous avons constaté que les densités enregistrées à Djendel (Aïn Defla) (2,3 kystes/100 g de sol) et à Oued Smar (Alger) (2,35 kystes/100 g de sol) sont très proches l'une de l'autre. Par contre, la comparaison de leurs degrés d'infestation respectifs (7,8 et 4,6 L<sub>2</sub>/g de sol) fait ressortir une nette différence concernant l'état d'infestation des parcelles. L'isolement de la microflore à partir des kystes *Heterodera sp.* nous a permis d'identifier six champignons *Fusarium sp.*, *Ulocladium sp.*, *Penicilium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Rhizopus sp.* et *Rhizomucor sp.* ainsi qu'une bactérie, en l'occurrence *Erwinia sp.* La confrontation directe entre les champignons *Fusarium sp.* et *Ulocladium sp.* avec les œufs de deux populations d'*Heterodera sp.* (Mouzaïa et Dahmouni) a révélé un effet antagoniste vis-à-vis du nématode.

**Mots-clés:** Céréales, Nématode à kyste des céréales, Degré d'infestation, Champignons, Bactéries, Lutte biologique.

# Summary

The study of the state of infestation of grain fields at some wilayas in Algeria by the cyst nematode *Heterodera sp.* shows that all the surveyed cities are infested by this parasite. Furthermore, the values of the densities (number of cysts/100 g soil) do not reflect the actual state of a plot infestation. Indeed, we found that the densities recorded Djendel (Ain Defla) (2,3 cysts/100 g soil) and Oued Smar (Alger) (2,35 cysts/100 g soil) are very close to the from each other. By cons, comparing their respective degrees of infestation (7.8 and 4.6 L2/g soil) shows a clear difference regarding the state of infestation of their plot. The isolation of the microflora from *Heterodera sp.* cysts allowed us to identify six fungi *Fusarium sp.*, *Ulocladium sp.*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Rhizopus sp.* and *Rhizomucor sp.* and a bacteria, namely *Erwinia sp.*. The use of two fungi *Fusarium sp.* and *Ulocladium sp.* in direct confrontation with the eggs of two populations of *Heterodera sp.* (Mouzaïa and Dahmouni) revealed an antagonistic effect against the nematode.

**Key words:** Cereals, Degrees of infestation, Bacteria, Biological control, fungi, Cereal cyst nematode, Nematode antagonists.

## ملخص

ان دراسة حالة الإصابة بالديدان الخيطية ذوي الأكياس من نوع *Heterodera sp.* , المعروفة بإصابة المناطق المختصة بزراعة الحبوب , تبين لنا إصابة جل البلديات المعنية بهذه الآفة

علاوة على ذلك لا تعكس قيم الكثافة (عدد الأكياس المملوءة/ 100غ من التربة) درجة الإصابة الحقيقية للمزارع الحبوب.

في الواقع لاحظنا أن الكثافة التي سجلت بجندل (عين الدفلة) (2,3 عدد الأكياس/100غ من التربة) والتي سجلت بواد السمار (الجزائر) (2,35 كيس/100 غ من التربة) متقاربة إلى حد ما. بينما عندما نقارن درجة الإصابة متتاليا (7,8 و4,6 يرقة مرحلة (2) /غ من التربة) نلاحظ فرق واضح فيما يخص حالة الإصابة للمزارع الحبوب لكل منهما. عند عزل الكائنات الحية المجهرية من أكياس الديدان الخيطية *Heterodera sp.*

حددنا 6 أنواع من الفطريات: *Aspergillus sp, Penicilium sp, Ulocladium sp, Fusarium sp, Erwinia sp, Rhisomucor sp., Rhisopus sp.* ونوع واحد من البكتيريا

عند استخدام نوعين من الفطريات (*Fusarium sp. et Ulocladium sp.*) في مكافحة البيولوجية المباشرة مع البيوض من مجموعتين من *Heterodera sp.* (موزاية. دحموني) اظهر فعالية ضد النيماتودا.

**الكلمات الرئيسية:** زراعة الحبوب, الديدان الخيطية, حالة الإصابة للمزارع الحبوب, الفطريات, البكتيريا



# Liste des figures

<b>Figure 01</b>	Les phases de cycle végétal du blé.	7
<b>Figure 02</b>	Répartition géographique du nématode à kyste des céréales <i>Heterodera</i> sp. dans le monde.	13
<b>Figure 03</b>	Distribution des espèces de nématodes à kyste des céréales du genre <i>Heterodera</i> sp. en Algérie	15
<b>Figure 04</b>	Morphologie du nématode à kyste <i>Heterodera</i> sp. (Taylor, 1968)	18
<b>Figure 05</b>	Kyste plein (A), kyste écrasé (B) montrant les œufs d' <i>Heterodera</i> sp. (Hodda et Lawrence, 2009).	18
<b>Figure 06</b>	Cycle biologique d' <i>Heterodera</i> sp. (Rivoal, 1987).	19
<b>Figure 07</b>	Types de pièges des hyphomycètes (Kerry et Crump, 1980).	25
<b>Figure 08</b>	Sites possibles d'infection d'un nématode à kyste par les champignons du sol (Kerry, 1988).	26
<b>Figure 09</b>	Situation géographique des wilayas.	31
<b>Figure 10</b>	Prélèvement du sol.	33
<b>Figure 11</b>	Appareil de FENWICK.	35
<b>Figure 12</b>	Ecoulement des refus sur tamis de 250 µm.	36
<b>Figure13</b>	Récupération de refus (matière organique + kystes).	37
<b>Figure14</b>	Récolte des kystes.	39
<b>Figure 15</b>	Degré d'infestation des parcelles de céréales par <i>Heterodera</i> sp.	42
<b>Figure 16</b>	Comparaison entre la densité et degré d'infestation des parcelles de céréales par <i>Heterodera</i> sp.	42
<b>Figure 17</b>	Kystes d' <i>Heterodera</i> sp.	46
<b>Figure 18</b>	Etapes de préparation de milieu de culture.	47
<b>Figure 19</b>	Etapes d'ensemencement des kystes d' <i>Heterodera</i> sp.	47
<b>Figure 20</b>	Aspect des colonies fongiques (A, B, C) et des colonies bactériennes (D).	48
<b>Figure 21</b>	Nombre de champignons et de bactéries extraits à partir des kystes d' <i>Heterodera</i> sp.	48
<b>Figure 22</b>	Etapes d'identification des champignons.	51
<b>Figure 23</b>	Projection des champignons avec les communes étudiées sur le plan de coordination 1 et 2 de l'AFC (a) et classification ascendant hiérarchique (CAH) (b).	54
<b>Figure 24</b>	Importance des colonies fongiques isolées à partir des kystes d' <i>Heterodera</i> sp.	56

# Liste des figures

---

<b>Figure 25</b>	Etapes de purification et réensemencement des bactéries.	58
<b>Figure 26</b>	Aspect macroscopique des différents isolats sur milieu LPGA.	59
<b>Figure 27</b>	Matériel pour le test d'hypersensibilité.	59
<b>Figure 28</b>	Etapes du test d'hypersensibilité.	60
<b>Figure 29</b>	Réaction d'hypersensibilité des plants de tabac vis-à-vis des isolats	61
<b>Figure 30</b>	Test de Gram au KOH.	63
<b>Figure 31</b>	A : Réaction positive (+) B : Réaction négative (-)	65
<b>Figure 32</b>	Prélèvement de la colonie bactérienne.	66
<b>Figure 33</b>	Dépôt et agitation de la crème bactérienne dans les tubes Hugh et Leifson .	66
<b>Figure 34</b>	Ajout de l'huile de vaseline dans le tube Hugh et Leifson.	66
<b>Figure 35</b>	Deux tubes de témoin.	67
<b>Figure 36</b>	(A) Test négatif dans les deux tubes (témoin), (B) test positif pour les deux tubes : anaérobique et aérobique.	67
<b>Figure 37</b>	Matériel de préparation du milieu de culture YDC.	68
<b>Figure 38</b>	Etapes d'ensemencement des bactéries sur milieu YDC.	69
<b>Figure 39</b>	Aspect macroscopique des différents isolats bactériens sur milieu YDC	69
<b>Figure 40</b>	Matériel utilisé pour le test de confrontation.	73
<b>Figure 41</b>	Préparation de la suspension sporale.	74
<b>Figure 42</b>	Différentes concentrations de la suspension sporale des deux champignons.	74
<b>Figure 43</b>	Etapes de la préparation des confrontations entre la suspension sporale et les œufs.	75
<b>Figure 44</b>	Observation sous loupe binoculaire des œufs et des spores de champignon.(Gr 40X10).	75
<b>Figure 45</b>	Observation sous microscope des œufs et des spores de champignon (Gr 40X10).	75
<b>Figure 46</b>	Développement du mycélium autour des œufs (Gr10X40) A : <i>Ulocladium</i> sp. ; B : <i>Fusarium</i> sp.	76
<b>Figure 47</b>	Témoin avec les œufs et sans champignon (Gr 10X100).	76

# Liste des tableaux

---

<b>Tableau 01</b>	Chronologie de la découverte d' <i>Heterodera</i> sp. dans le monde.	14
<b>Tableau 02</b>	Degré de température de chaque stade de développement d' <i>Heterodera</i> sp. en Algérie.	21
<b>Tableau 03</b>	Fréquence d' <i>Heterodera</i> sp. dans l'ensemble des échantillons.	40
<b>Tableau 04</b>	Pourcentage de kystes pleins et vides, densité et degré d'infestation.	41
<b>Tableau 05</b>	Observations macroscopique et microscopique des différents genres de champignons isolés à partir des kystes d' <i>Heterodera</i> sp.	51
<b>Tableau 06</b>	Colonies de champignons identifiées au niveau des sept parcelles étudiées.	52
<b>Tableau 07</b>	Résultats du test d'hypersensibilité.	62
<b>Tableau 08</b>	Récapitulatif des tests d'orientation.	70

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>

## Revue Bibliographique

### Chapitre I : Généralités sur les céréales.

I.1. Généralités sur les céréales.	3
I.1.1. Origine et historique du blé.	3
I.1.2. Importance des céréales.	3
I.1.3. Position systématique.	3
I-1-3-1 Taxonomie du blé dur.	4
I-2 Morphologie d'une céréale.	4
I -2-1- Système aérien.	4
I-2-1-1- Tige.	4
I-2-1-3- Epi.	4
I-2-1-4- Fruit.	4
I-2-2- Système racinaire.	4
I-3-Cycle végétatif du blé.	5
I-3-1- Période végétative.	5
I-3-1-1- Phase germination – levée.	5
I-3-1-2.-Phase levée – tallage.	5
I-3-1-3- Phase tallage-montaison.	5
I-3-2- Période de reproduction.	5
I-3-2-1- Phase de la montaison.	5
I-3-2-2. Phase de l'épiaison.	6
I-3-3 Période de maturation.	6
I-4- Exigences pédo-climatiques des céréales.	7

I-4-1- Climat.	7
I-4-1-2- Les céréales et le gel.	7
I-4-1-3- Les céréales et l'excès thermique.	8
I-4-2- L'eau.	8
I-4-3- L'éclaircissement.	8
I-4-4- Le sol.	8
I-4-5- Fumure.	8
I-5- Les principales maladies et parasites des céréales.	8
I-5-1- Les maladies.	8
I-5-1-1- Fusarioses : <i>Fusarium roseum</i> .	8
I-5-1-2- Septorioses : <i>Septoria nodorum</i> .	8
I-5-1-3- Les rouilles : rouille noire : <i>Puccinia graminis</i> .	9
I-5-1-4-La carie : <i>Tilletia caries</i> et <i>T.foetida</i> .	9
I-5-1-5- Le charbon.	9
I-5-1-6-La fente de semis : <i>Pythium de baryanum</i> .	9
I-5-2- Les adventices.	9
I-5-3- Ravageurs.	9
I-5-3-1- Nématode : <i>Heterodera</i> sp.	9
I-5-3-2- La punaise des céréales : ( <i>Aelia germari</i> ).	10
I-5-3-3-Les rongeurs.	10

## **Chapitre II : Généralités sur *Heterodera* sp.**

II-1-Historique	12
II-2-Position systématique.	12
II-3- Répartition du nématode.	13
II-3-1 Dans le monde.	13
II-3-2 En Algérie.	15
II-4- Critères de détermination des espèces d' <i>Heterodera</i> sp..	15
II-5-importance économique d' <i>Heterodera</i> sp.	16
II-6- Morphologie et biométrie.	16
II-6-1-Le mâle.	16
II-6-2-La femelle.	17

II-6-3-Le kyste.	17
II-7- Cycle biologique.	17
II-8- Les facteurs qui influencent le développement d' <i>Heterodera</i> sp.	20
II-8-1 Les facteurs abiotiques.	20
II- 8-1-1- Facteurs climatiques.	20
II-8-1-1-1 L'humidité.	20
II-8-1-1-2 La température.	20
II-8-1-2- Facteurs édaphiques.	21
II-8-1-2-1 Type de sol.	21
II-8-1-2-2 La porosité.	21
II-8-1-2-3- L'oxygène.	21
II-8-1-2-4 Le pH	21
II-8-2 Les facteurs biotiques.	21
II-8-2-1 La plante hôte.	21
II-8-2-2 La matière organique.	22
II-9- Les facteurs de dissémination.	22
II-9-1- L'homme.	22
II-9-2-Le matériel.	22
II-9-3- Le vent.	22
II-9-4- L'eau.	22
II-10- Symptômes et dégâts.	22
II-10-1- Au champ.	22
II-10-2- Sur la plante.	23
II-10-2-1- La partie aérienne.	23
II-10-2-1-1- Un rabougrissement.	23
II-10-2-1-2- Une décoloration du feuillage.	23
II-10-2-1-2- Une décoloration du feuillage.	23
II-10-2-2- La partie racinaire.	23

II-11- Méthodes des luttres contre <i>Heterodera</i> sp.	23
II-11-1-Lutte culturale.	23
II-11-2-Lutte biologique.	24
II-11-2-1-Champignons antagonistes des nématodes à kystes des céréales.	24
II-11-2-1-1- Champignons prédateurs.	24
II-11-2-1-2- Champignons parasites.	24
II-11-2-1-3- Endoparasites obligatoires.	25
II-11-2-1-4--Endoparasites facultatifs.	25
II-11-2-2- Modes de pénétration des champignons.	26
II-11-3-Lutte chimique.	27
II-11-4-Variétés résistantes	27
II-11-5-Désherbage et nettoyage.	27
II-12- Mode d'action des antagonistes sur les nématodes à kyste <i>Heterodera</i> sp.	27

## **Partie expérimentale**

### **Chapitre I : Degré d'infestation des céréales.**

I-Introduction.	31
I-1-Matériel et méthodes.	32
I-1-1-Matériel d'échantillonnage.	32
I-1-2-Technique d'échantillonnage.	32
I-1-3-Matériel d'extraction des kystes.	34
I-1-4-Méthode d'extraction.	34
I-1-4-1-Le principe.	34
I-1-4-2-Description de l'appareil de Fenwick.	35
I-1-4-2-1-Mode opératoire.	36
I-1-4-3-Matériel de récolte des kystes.	38
I-1-4-3-1 Méthode de récolte.	38
I-2 Calcul des degrés d'infestation.	38
I-3 Résultats.	40
I-3-1 Fréquence d' <i>Heterodera</i> sp. dans les communes prospectées.	40
I-3-2 Etat d'infestation des parcelles céréalières par <i>Heterodera</i> sp.	41
I-4-Discussion.	43

## **Chapitre II : Isolement de la microflore à partir des kystes d'*Heterodera* sp.**

II-1- Matériels.	46
II-2- Préparation de milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar)	47
II-3- Ensemencement des kystes.	47
II-4- Analyse statistique.	48
II-4- Résultats.	48
II-4 -1 Identification des colonies obtenues.	48
II-4-1-1- Observation macroscopique.	48
II-4-1-1-1- Discussion.	49

## **Chapitre III : Identification et dénombrement des champignons.**

III-1 Identification des champignons.	51
III-1-1 Matériel et méthodes.	51
III-1-2 Résultats.	51
III-1-3 Analyse statistique.	54
III-1-4 Discussion.	55
III-2 Dénombrement des colonies fongiques isolées à partir des kystes.	55
III-2-1 Matériels et méthodes.	55
III-2-2 Résultats.	55
III-2-3 Discussion.	56

## **Chapitre IV : Identification des bactéries.**

Introduction.	56
IV-1 Purification des colonies bactériennes.	56
IV-2 Identification des bactéries.	57
IV-2-1 Test d'hypersensibilité sur plants de tabac.	57
IV-2-1-1 Matériels et méthodes.	57
IV-2-1-2 Résultats.	59
IV-2-2 Test de potasse indicatrice de Gram	61



IV-2-2-1 Matériel et Méthodes.	61
IV-2-2-2 Résultats.	61
IV-2-3 Test Oxydase.	62
IV-2-3-1 Matériel et Méthodes.	62
IV-2-3-2 Résultats.	63
IV-2-4 Test Hugh et Leifson.	63
IV-2-4-1 Matériel et Méthodes.	63
IV-2-4-2 Résultats.	65
IV-2-5 Confirmation des colonies bactériennes obtenues.	66
IV-2-5-1 Matériel et Méthodes.	66
IV-2-5-1 Résultats.	67

**Chapitre V : Confrontation in vitro entre les champignons antagonistes et les œufs d'*Heterodera* sp.**

Introduction.	73
V-1 Matériels.	74
V-2-1 Test de confrontation sur lame creuse.	74
V-3 Résultats.	76
<b>Conclusion générale.</b>	78
Références bibliographiques.	81

# Introduction générale

## Introduction générale

Les céréales sont les cultures les plus cultivées au monde par la superficie et par le volume récolté. Le blé est le plus important (Pastre et Roa, 1993). Il tient de loin la première place quant à l'occupation des terres agricoles, parce qu'elles servent de base à l'alimentation des habitants.

Le blé est cultivé dans le monde depuis le temps préhistorique. Sa présence au Moyen-Orient dans le croissant fertile, d'où il est originaire, date d'environ 10 000 ans (Feldman et Sears, 1981). Le blé était la troisième céréale la plus produite après le maïs et le riz avec une production mondiale de plus de 600 millions de tonnes et l'orge occupe le quatrième rang dans la production céréalière mondiale avec 136 millions de tonnes (FAO, 2009).

Malgré cette grande superficie, les rendements sont en diminution durant ces dernières années. Parmi les contraintes, on cite d'une part les aléas climatiques, particulièrement la sécheresse, et les techniques culturales non appropriées, et d'autre part les déprédateurs des cultures : les parasites et les ravageurs.

Parmi les parasites, on cite les nématodes qui sont inconnus en raison de leur taille réduite et surtout du fait qu'ils s'attaquent le plus souvent aux parties sous terraines.

Le nématode à kyste des céréales (*Heterodera* sp.) est un endoparasite sédentaire des céréales à pailles et du maïs.

De ce fait, le nématode *Heterodera* sp. est reconnu comme étant l'un des majeurs parasites des céréales à travers le monde où il cause des pertes économiques importantes.

Les chutes de rendement des céréales par les nématodes à kystes des céréales sont de 50% aux USA (Smiley et al., 1994), de 30 à 40% en Angleterre (Reddy, 1983), de 30 à 50% en Russie (Shiabova, 1982), de 40 à 50% au Maroc (Rammah, 1994), de 50% au Canada (Caubal et al., 1980), de 20 à 40% en Australie (Meagher et Brown, 1974). Greco et al. (1993) estiment une perte de 2,6 milliards de lire italienne de rendement suite aux attaques d'*Heterodera* sp.

En Algérie, le nématode à kyste *Heterodera* sp. inféodé aux cultures céréalières est l'espèce la plus redoutable en raison de sa large distribution dans les zones céréalières (plus de 20 régions), ce qui augmente la possibilité des risques dus à ces nématodes (Mokabli, 2006).

La présence de ce nématode en Algérie a été sommairement rapportée par Scotto la Massese en 1961. Depuis, aucune autre indication n'a été faite sur sa présence, jusqu'en 1993 où Azzizi, Ferhaoui, Ghebalou et Meddas ont entrepris des travaux sur ce nématode. Ils ont révélé sa présence dans les régions céréalières prospectées (Mouzaïa, Djendel, Oued Smar, Tipaza, Tighennif, Dahmouni et Guellal ) avec des densités plus ou moins élevées.

Vu son importance, nous nous sommes intéressés à sept wilayas dont deux situées dans l'Ouest, quatre au Centre et une dans l'Est.

A l'Ouest, la wilaya de Tiaret occupe la première place quant à sa superficie, avec 340 000 hectares, la wilaya de Mascara, la troisième avec 140 010 hectares emblavés lors de la campagne 2015-2016. Au Centre, les wilayas de Aïn Defla la quatrième avec 57 251 ha, Tipaza cinquième avec 17 560 ha, Blida la sixième avec 7862 ha et Alger la septième avec 2006 ha. A l'Est, la wilaya de Sétif occupe la deuxième position avec 160 834 ha.

C'est à travers ces différentes wilayas que nous essayerons dans une première partie de déterminer l'importance de l'état d'infestation des parcelles prospectées et leur degré d'infestation.

La deuxième partie sera consacrée à la détermination de la flore microbienne extraite à partir des kystes et à l'intérêt de son utilisation en tant que moyen biologique pour lutter contre ces nématodes.

**Revue  
Bibliographique**

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les céréales**

## **I-1 Généralités sur les céréales**

### **I-1-1 Origine et historique de blé**

Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme. Il était à la base de l'alimentation des premières civilisations humaines (Feldman et Sears, 1981). Il a été constaté que le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran. L'aire géographique du blé est le Tigre et l'Euphrate en Iraq. Elle s'est étendue jusqu'au Nil en Egypte, où des variétés de blé ont été découvertes dans les temples égyptiens.

### **I-1-2 Importance des céréales**

En Algérie, la céréaliculture a une grande valeur agro-alimentaire et socio-économique. Le blé est la culture la plus cultivée. Il occupe la première place dans la production végétale et constitue l'aliment de base. Il est nutritif, concentré, facilement stocké et transporté. Dans le grain de toutes les céréales, le constituant nettement majoritaire est l'amidon qui constitue environ les trois quarts de la matière sèche (Godon, 1986 in Godon, 1991).

Il contient des hydrates de carbone (78,1%), des protéines (14,7%), des lipides (2,1%), des minéraux (2,1%) et des vitamines en quantités considérables (Alam *et al.*, 2007). Bien que la céréaliculture et surtout le blé dur soit cultivé dans diverses régions du monde, la majeure partie de la production du blé dur (culture stratégique) est concentrée en Amérique du Nord et le Bassin méditerranéen (ce dernier fournit 75% de la production mondiale) (Belaïd, 2000).

Dans le monde, les céréales constituent la composante de base de l'agriculture. Selon Sikora (1987), le blé et l'orge occupent 70% des terres cultivées en Afrique du Nord et en Asie de l'Ouest. Le blé occupe la première place, suivi de riz, du maïs puis de l'orge. Les principaux pays producteurs sont le Canada, le Mexique, les USA, la France, la Grèce, l'Italie et la Russie.

### **I-1-3 Position systématique**

Le blé est une plante herbacée appartenant à la classe des angiospermes, à la sous-classe des monocotylédones et à la famille des graminées. Au sein de cette dernière, il fait partie de la tribu des Triticeae et du genre *Triticum* et l'espèce *Triticum durum* (Cook *et al.*, 1993).

**I-1-3-1 Taxonomie de blé dur :**

**Nom scientifique:** *Triticum turgidum* (synonyme : *Triticum durum*)

Règne.....végétale

Embranchement.....Stomatifères

Sous-embranchement..... Angiospermes

Classe..... Monocotylédones,

Ordre.....Glumales

Famille..... Graminées :(graminacées),(Poacées)

Genre.....*Triticum*

**I-2 Morphologies d'une céréale**

L'appareil végétatif des céréales est herbacé, il comprend :

**I -2-1 Système aérien**

Il est formé d'un certain nombre de talles, chaque talle est formée de :

**I-2-1-1 Tige**

Tige est creuse (chaume), dont les entre-nœuds ne sont allongés qu'à la montaison (Soltner, 1990) et porte 7 à 8 feuilles rubanées engainantes sur toute la longueur. (Clement et *al.*, 1971).

**I-2-1-2 Feuilles**

Les feuilles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (Clement et *al.*, 1971).

**I-2-1-3 L'épi**

L'épi apparaît enveloppé dans la dernière feuille, comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalle régulier et portant alternativement à droite et à gauche un épillet (Clement et *al.*, 1971).

**I-2-1-4 Fruit**

Le fruit est un caryopse, il est indéhiscent dont ses glumes sont soudées à la paroi de l'ovaire (Soltner, 1990).

**I-2-2 Système racinaire**

Il est de type fascicule assez développé, qui peut atteindre 1,5 à 2 m de profondeur (Clement et *al.*, 1971). Toute céréale dispose au cours de son développement de deux systèmes racinaires :



- Le système de racines primaires ou séminales
- Le système de racines secondaires (Moule, 1980).

### **I-3 Cycle végétatif du blé**

On distingue trois périodes importantes dans le cycle végétatif du blé : une période végétative, une période de reproduction et une période de maturation.

#### **I-3-1 Période végétative**

Elle s'étend du semis au début de la montaison. Elle est subdivisée en plusieurs phases (Fig. 01).

##### **I-3-1-1 Phase germination-levée**

La germination commence quand le grain a absorbé environ 25% de son poids d'eau. Les téguments se déchirent, la racine principale, couverte d'une enveloppe appelée coléorhize, apparaît, suivie par la sortie de la première feuille, couverte d'une enveloppe appelée coléoptile. A la surface du sol apparaissent d'autres racines et feuilles. La durée de cette phase varie avec la température, et est de 8 à 15 jours (Clément-Grandcourt et *al*, 1970).

##### **I-3-1-2 Phase levée-tallage**

On peut distinguer pendant cette phase, à travers la coléoptile, un filament ou rhizome, terminé par un renflement qui va se gonfler de plus en plus pour former le plateau de tallage qui se forme presque au niveau de la surface du sol. Le plateau de tallage s'épaissit et des racines secondaires se développent très vite. De nouvelles feuilles apparaissent et à chacune correspond l'apparition d'une talle. La place des épillets fait par un simple étranglement sur la partie supérieure du végétal (Clément-Grandcourt et *al*, 1970).

##### **I-3-1-3 Phase tallage-montaison**

La différenciation des épillets se poursuit par étranglements successifs du cône formateur de l'épi. Les talles herbacées se forment activement (Clément-Grandcourt et *al*, 1970).

#### **I-3-2 Période de reproduction**

Elle s'étend de la montaison à la fécondation :

##### **I-3-2-1 Phase de la montaison**

Au cours de cette phase, un certain nombre de talles herbacées vont évoluer vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser. La croissance en taille et en

matière sèche est alors active. Cette phase se termine au moment de la différenciation des stigmates. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours (Clément-Grandcourt et *al.*, 1970).

### **I-3-2-2 Phase d'épiaison**

Cette phase correspond à l'élaboration d'une grande quantité de la matière sèche, à l'organisation détaillée des épillets à la fécondation. La durée de cette phase est d'environ 32 jours.

### **I-3-3 Période de maturation :**

C'est la dernière phase, elle correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains.(CLEMENT et al, 1971). Cette période s'étale en moyenne de 50 jours (SIMON et al, 1989).

Le grain passe de stade laiteux au stade pâteux, qu'il marque la fin de migration de réserve, avec 45% d'humidité puis le stade cassant sous la dent avec 15 à 16 % d'humidité.(SOLTNER, 1990).

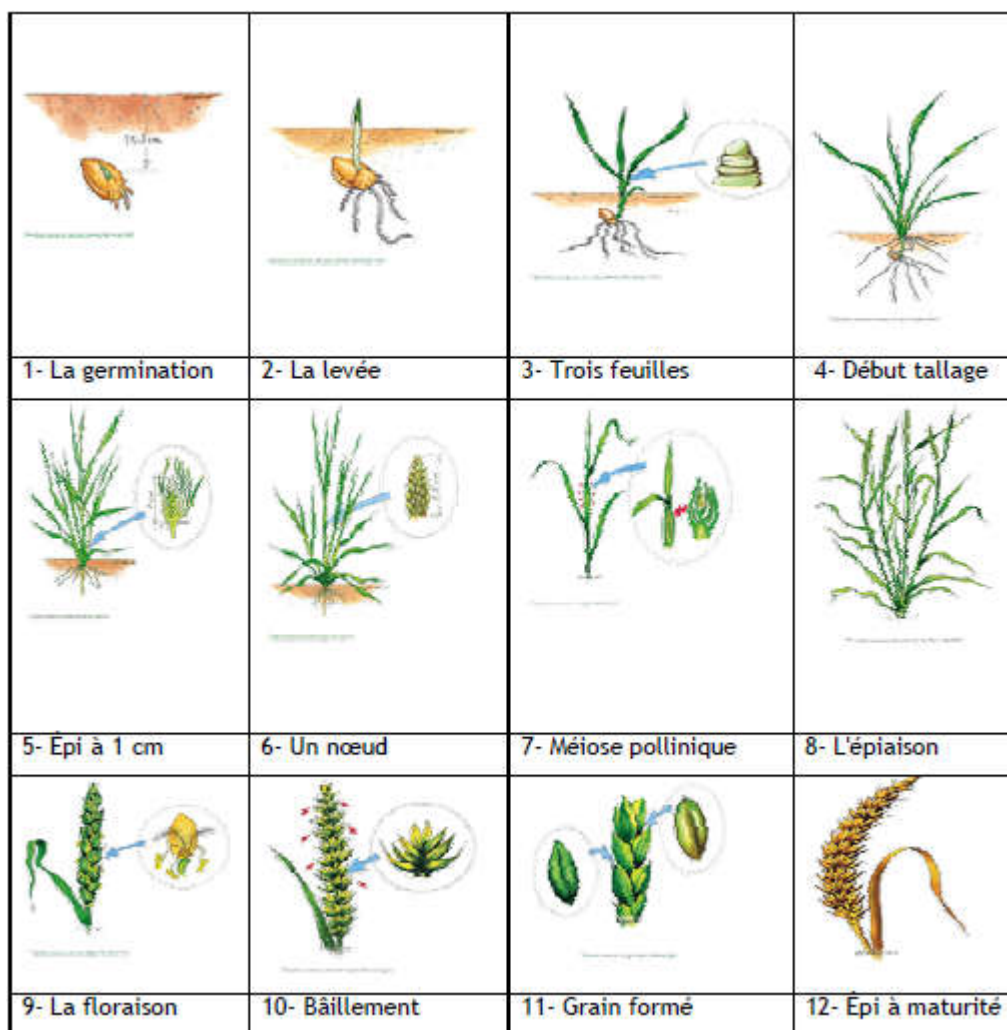


Figure 01 : Les phases de cycle végétal du blé (Soltner, 2005)

## I-4 Exigences pédo-climatiques des céréales

### I-4-1 Climat

#### I-4-1-1 La température

Une température de 0°C est exigée pour la germination des céréales (Soltner, 1990).

Le zéro de germination, c'est la température à partir de laquelle une céréale germe et pousse (Simon et *al.*, 1980).

**Exemple** pour le blé, le zéro de germination est de 0°C.

#### I-4-1-2 Les céréales et le gel

Faillisse (1992) in Meddah (1999) a montré que la sensibilité au gel varie selon le stade de développement.

### **I-4-1-3 Les céréales et l'excès thermique**

D'après Gate, (1995), il existe deux stades chez les céréales qui apparaissent comme particulièrement sensibles aux températures élevées, la méiose et la floraison.

La résistance au froid est un caractère variétal qui varie avec l'âge de la plante. Dès la germination, la résistance est à son minimum.

De la levée jusqu'au développement de la cinquième feuille, la résistance au froid est assez importante (Clement et *al.*, 1971).

### **I-4-2 L'eau**

L'eau est l'élément indispensable pour la vie de la plante. La graine du blé peut absorber jusqu'à 60% de son poids. Elle en absorbe au moins 35 à 45% pour assurer sa germination, (Faillisse, 1992 in Damene et Ouzzir, 2006).

### **I-4-3 L'éclairement**

Le blé est une plante de pleine lumière, l'écartement des lignes aux semailles permet de placer le blé dans un éclairement optimal garantissent un bon tallage (Clement et *al.*, 1971).

### **I-4-4 Le sol**

Dans l'ensemble, les céréales s'accommodent à tous les sols. Cependant, chacune d'elles a des préférences (Moule, 1980).

### **I-4-5 Fumure**

L'azote est un facteur déterminant de la croissance des organes végétatifs ainsi que de leur composition. Il est apporté sous forme de solution azotée d'ammonitrates (Gouasmi, 2008).

## **I-5 Les principales maladies et parasites des céréales**

### **I-5-1 Les maladies**

#### **I-5-1-1 Fusarioses : *Fusarium roseum***

Les plantes attaquées présentent une colorante violacée à noire au-dessus du nœud, avec un noircissement du nœud ultérieur et brunissement des tissus attaqués (Laffont, 1985).

#### **I-5-1-2 Septorioses : *Septoria nodorum***

Sur les feuilles et grains apparaissent des taches en losange nécrosées au centre et bordées d'une marge chlorotique jaune plus ou moins importante, selon les variétés (Laffont, 1985).

**I-5-1-3 Les rouilles : rouille noire : *Puccinia graminis***

Sur les feuilles apparaissent des taches de couleur rousse avec des pustules noires en fin de saison qui affectent les céréales pendant le remplissage du grain (Bovey, 1979).

**I-5-1-4 La carie : *Tilletia caries* et *T. foetida***

L'épi carié se reconnaît d'abord au stade de la floraison par un port dressé, une teinte vert bleutée qui persiste plus longtemps sur épis contaminés que sur les épis normaux, et l'absence d'anthèses. A la maturité, l'épi est dressé, car il est léger (Clement et al., 1971).

**I-5-1-5 Le charbon****a) Le charbon nu : *Ustilago tritici* du blé, *Ustilago nuda* de l'orge**

La dernière gaine et la feuille qui prolonge peuvent prendre un aspect chlorotique puis jaune. L'épi charbonné apparaît comme une masse noire. Les enveloppes florales sont détruites (Michel Lacroix, 1987).

**b) Le charbon couvert : *Ustilago hordie* de l'orge, *Ustilago avenae* sur avoine**

Les épis atteints sont gris-verdâtre, ébouriffés et contiennent des masses sporifères à la place du grain. Les épis malades restent fréquemment bloqués dans la gaine (Bovey, 1979).

**I-5-1-6 La fente de semis : *Pythium* de *baryanum***

Les symptômes les plus caractéristiques sont la présence de taches brunes suivie d'un brunissement sur les racines et à la base de la tige (Michel Lacroix, 1987).

**I-5-2 Les adventices**

Les mauvaises herbes rentrent en compétition ou en concurrence (nutrition, lumière, espace) avec les cultures et constituent un foyer de refuge, de prolifération des ennemis des céréales (Peters et Salambier, 1994) et entraînent donc une diminution des rendements de 20 à 50% (Belaid, 1996).

**I-5-3 Ravageurs****I-5-3-1 Nématode : *Heterodera* sp.**

Ce nématode spécifique des graminées attaque les racines des céréales de l'automne et provoque un fort affaiblissement des plantes.

Sa forme de résistance, le kyste, lui permet de se conserver jusqu'à 5 ans dans le sol (Arvalis, 2006).

En Algérie, les nématodes à kyste du genre *Heterodera* et les nématodes des lésions racinaires *Pratylenchus* sp. peuvent provoquer des baisses importantes de rendement. (Mokabli, 2002).

**II-5-3-2 La punaise des céréales : *Aelia germari***

Elle cause des dommages sur tiges et sur feuilles par sa piqûre. Les attaques des punaises sont caractérisées par de petites lésions qui se présentent comme des points sombres entourés d'une zone décolorée (Bovey, 1979).

**II-5-3-3 Les rongeurs**

En Algérie, les rongeurs et plus particulièrement *Meriones shawi* peut provoquer des pertes allant de 10 à 50% des récoltes céréalières, soit l'équivalent de quatre quintaux à l'hectare (Ouazaouit, 2000 in Djelaila et *al.*, 2006).

Chapitre II  
Généralités sur *Heterodera* sp.

## II -Généralités

Le nématode à kyste *Heterodera* sp. constitue un déprédateur sérieux largement distribué (Caubel et al., 1980 ; Rivoal, 1983) réparti dans les régions céréalières tempérées du monde entier (Rivoal et Cook, 1993 ; Nicol, 2002 ; Nicol et al., 2003). Il attaque toutes les céréales à pailles et le maïs (Rivoal, 1975).

Généralement, *Heterodera* sp. est un endoparasite sédentaire qui attaque l'avoine, l'orge, le blé et le maïs (Panchaud, 1990). C'est une espèce très polymorphe (Ritter, 1982), cosmopolite (Vollotton, 1976).

### II-1-Historique

Ce nématode a été découvert pour la première fois en 1874 en Allemagne par KHUN (Meskine, 1983 ; Reddy, 1983), qui l'a alors considéré comme une espèce non différente de l'Anguillule de betterave *Heterodera schachtii* (Ritter, 1982).

Au Danemark, Rostrur et Koplín donnent le nom *Heterodera schachtii* var. *avenae* à ce nématode en 1908 (Soso Moss, 1966).

Sa description fut détaillée par Schmidten 1930 et Franklin en 1951.

### II-2- Position systématique

Le nématode de kyste des céréales (NKC) est un groupe de 12 espèces qui infecte les céréales, les graminées et les mauvaises herbes.

La classification des nématodes est basée essentiellement sur les critères morphologiques et biométriques des kystes : forme générale, couleur, taille (Romero, 1982 ; Rivoal et Cook, 1993), surtout le cône vulvaire (Shepherd et al., 1973) et le stylet de la larve de deuxième stade (Stone, 1977 ; Wouts et al., 1985). Selon Stone (1977), Bacheliere (1978) et Reddy (1983), *Heterodera* sp. occupe la position systématique suivante :

Règne : Animal

Sous Règne : Métazoaires

Embranchement : Némathelminthes

Sous-Embranchement : Nématodes

Classe : Nematoda

Sous-Classe : Secernentea

Ordre : Tylenchida

Sous-Ordre : Tylenchina



Super Famille : Heteroderoidea

Famille : Heteroderidae

Sous-Famille : Heteroderinae

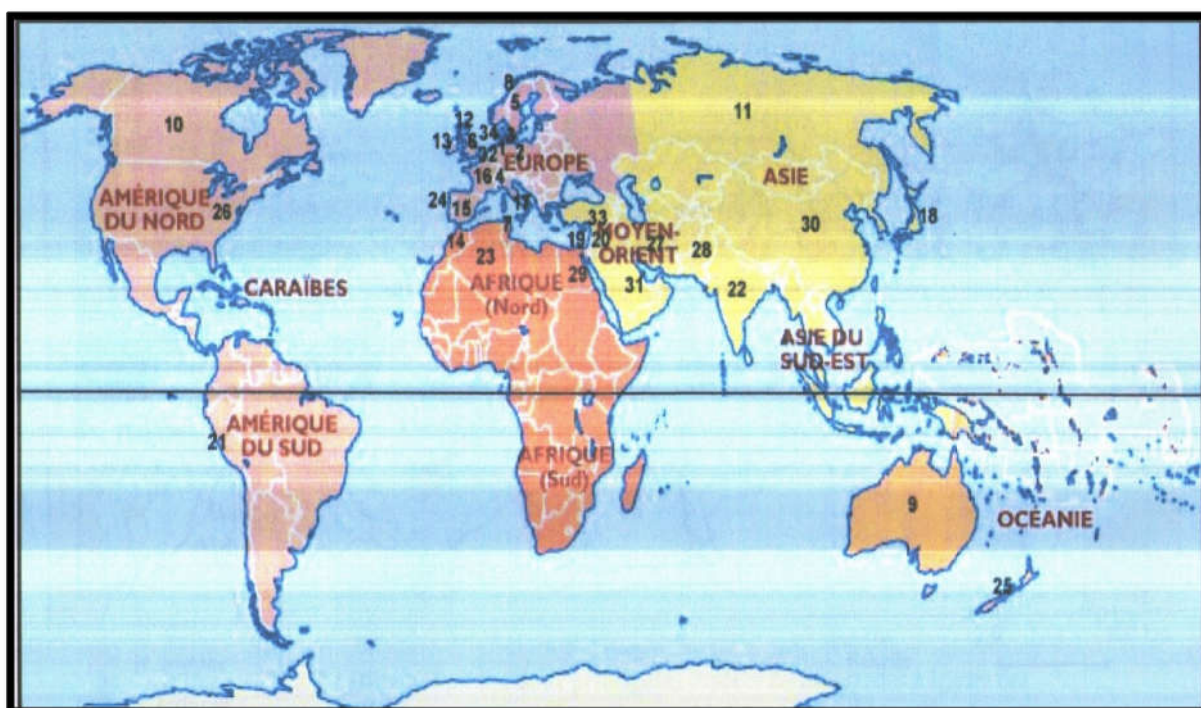
Genre : *Heterodera*

## II -3- Répartition du nématode

### II-3-1-Dans le monde

*Heterodera* sp. est le plus connu des nématodes parasites des céréales (Rivoal et al., 1987). Il a été trouvé dans toutes les zones céréalières où sa pathogénie diffère cependant en fonction des cultures pratiquées et de la localisation géographique (Rivoal et al., 1986).

Selon Ritter (1982), après la découverte d'*Heterodera* sp. dans le sud d'Allemagne, sa présence a été signalée dans divers pays du monde. (Fig. 02 )(Tab. 01)



**Figure 02** : Répartition géographique du nématode à kyste des céréales *Heterodera* sp. dans le monde.

1-Allemagne, 2-Hollande, 3-Danemark, 4-Suisse, 5-Suède, 6-Angleterre, 7- Tunisie, 8- Norvège, 9-Australie, 10-Canada, 11-Russie, 12-Ecosse, 13-Irlande, 14-Maroc, 15-Espagne, 16-France, 17-Italie, 18-Japon, 19-Israël, 20-Palestine, 21-Pérou, 22-Inde, 23-Algérie, 24-Portugal, 25-Nouvelle-Zélande, 26-USA, 27-Iran, 28-Pakistan, 29-Egypte.

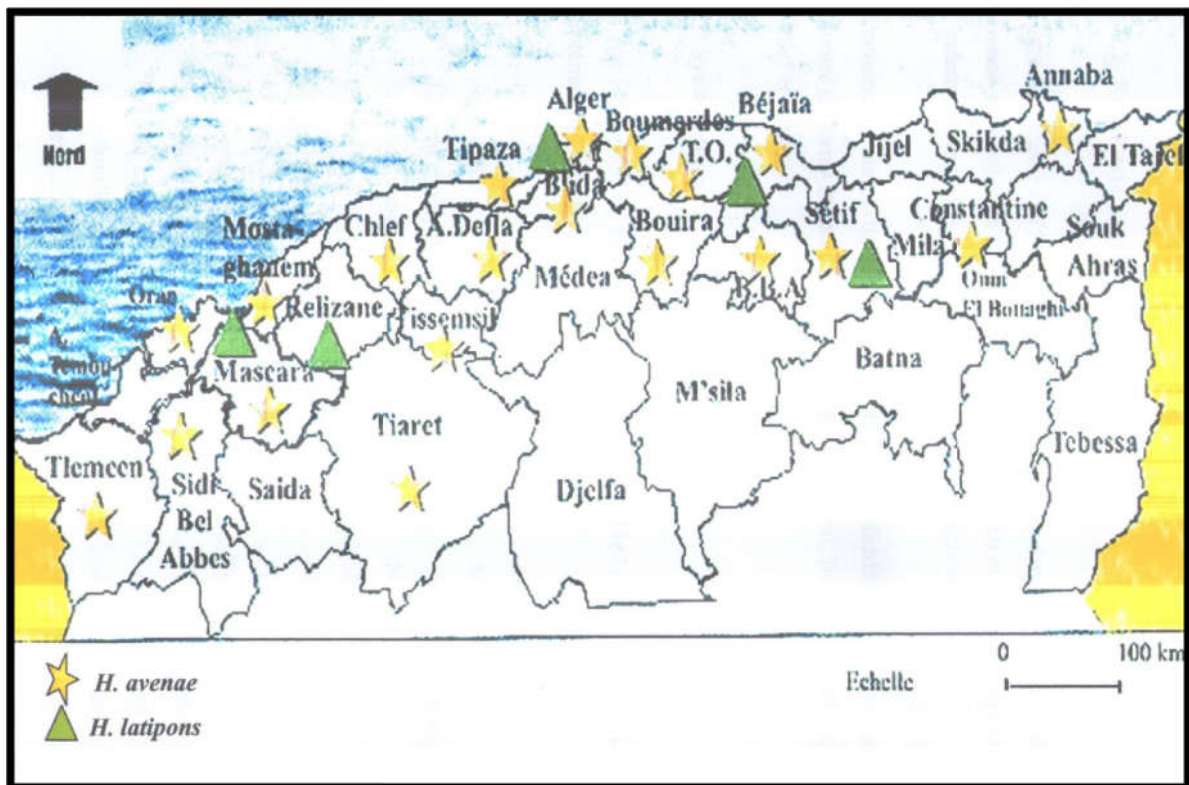
**Tableau 01:** Chronologie de la découverte d'*Heterodera* sp. dans le monde.

Année	Pays	Découverte	Références
1874	Allemagne	Kuhn	CAUBEL et al (1980) ;RITTER(1982);MULVEY et GOLDEN (1983) ; MESKINE et ABAD (1993).
1891	Hollande	Kuhn	SACRISTAN et al(1983).
1891	Danemark	//	//
1891	Suisse	//	//
1908	Angleterre	Théobald	RITTER (1982).
1925	Tunisie	Pagliano	RITTER (1982).
1926	Norvège	Schoyen	RITTER (1982).
1930	Australie	Davidson	MEAGHR (1970) ; SACRISTAN et al. (1983).
1935	Canada	Putmanet thorne	RITTER (1982).
1941	URSS	Kirjanova	RITTER (1982).
1946	Irlande	Cameron et Dunn	RITTER (1982).
1951	Maroc	Franklin	MESKINE et ABBAD (1993).
1951	Espagne	Dominguez et Garcia. Tejero	RITTER (1982).
1953	France	Ritter	RIVOAL (1973) ; CAUBEL et al(1980).
1953	Italie	Mezetti	RITTER (1982).
1954	Japon	Ichinee	SACRISTAN et al. (1983).
1956	Palestine	Minz	SACRISTAN et al. (1983).
1959	Inde	Prasad et al.	REDDY (1983) ; SACRISTAN et al. (1983).
1961	Algérie	Scotto La Massesse	SCOTTO LA MASSESE (1961) ; RITTER (1982).
1963	Portugal	Scotto la Massesse	SACRISTAN et al. (1983).
1967	Bulgarie	Stoyanov	RITTER (1982).
1975	N. Zélande	Stoyanov	SACRISTAN et al. (1983).
1975	USA	Janson et al.	RITTER (1982) ; MILLER (1986).

### II-3-2- En Algérie

Cette espèce fut découverte par Scotto La Massese en 1961, suivi par Lamberti en 1975 qui a signalé sa présence à Birtouta sur l'orge et à Sidi Bel Abbès et à El Amra sur le blé. Les études ont été reprises en 1992 où il a été mis en évidence dans la région de Djendel par Lounis, puis par Ferhaoui (1993) à Hoceinia et Djendel) dans la wilaya d'Ain Defla.

D'après les travaux réalisés par plusieurs chercheurs algériens depuis 1993 jusqu'à présent, ce nématode a été recensé dans d'autres régions céréalières (Mokabli, 2006).



**Figure 03 :** Distribution des espèces de nématodes à kyste des céréales du genre *Heterodera* en Algérie.

### II-4- Critères de détermination des espèces d'*Heterodera*

Certaines caractéristiques des larves du second stade telles que la longueur du corps, le stylet et la forme de ses boutons basaux ainsi que la longueur de la queue sont prises en considération pour distinguer les espèces des *Heterodera* (Sturhan, 1982 ; Rivoal et Cook, 1993).

D'après Bekal (1997), le seul critère qui sépare *H. avenae* d'*H. mani* est la forme des boutons basaux du stylet qui sont ronds chez *H. avenae* et pointus (en forme de tulipe) chez *H. mani*. Mais dans le cas des cinq autres espèces (*H. avenae*, *H. latipons*, *H. mani*, *H. filipjevi* et *H. iri*), très peu de critères permettent de les identifier. A titre d'exemple, le sous-pont est absent

chez *H. avenae* ou légèrement présent chez *H. mani*, alors qu'il est commun dans le cas d'*H. latipons* et d'*H. filipjevi*.

La morphométrie permet d'établir une identification préliminaire (Baldwin et Mundo-Ocampo 1991). Néanmoins, ce critère reste complémentaire, vu la taille des kystes d'*H. avenae* qui est très variable d'un pays à un autre, voire même au sein d'un même pays (Anderson, 1968).

Toutefois, de nouvelles méthodes basées essentiellement sur des outils biochimiques viennent améliorer et compléter la taxonomie des nématodes.

Parmi ces techniques, l'électrophorèse sur gel d'acétate de cellulose pour la révélation des enzymes donne des résultats satisfaisants (Mokabli et al., 2001 ; Mokabli, 2002).

## **II -5-Importance économique d'*Heterodera* sp.**

Selon Caubel et al (1980), ce nématode a permis d'établir des baisses de rendement. Une étude réalisée en Angleterre estime les pertes à 40%. Au sud de la France, une étude estime les pertes de 5 à 10% pour le blé et l'orge.

## **II-6- Morphologie et biométrie**

Selon Rivoal et al., (1978) *Heterodera* sp présente un dimorphisme sexuel prononcé à l'état adulte.

D'après Williams et Siddiqi (1972), les œufs d'*Heterodera* sp. mesurent 126 µm de longueur et 56 µm de largeur. Ils sont hyalins, lisses et de forme ovale (Vovlas, 1985). On les trouve renfermés dans le corps de la femelle adulte transformée en kyste (Schneider, 1965 ; Sacristan et al., 1983). Les larves du 1er stade (L1) sont immobiles et rudimentaires, et les larves du 2ème stade (L2) sont mobiles et migratrices (Shephard et al., 1972), elles représentent le stade infestant (Wouts, 1972 ; Person-Dedryver, 1989). Elles sont munies à leur partie antérieure d'un stylet buccal puissant dont il possède l'un des critères d'identification (Wouts, 1985). D'après Nobbs (1989), elles sont vermiformes. Les larves du 3ème et du 4ème stade (L3 et L4) sont sédentaires et gonflées avec une queue courte à la partie postérieure et un stylet buccal à la partie antérieure (Wouts, 1985). Une seule différence existe entre elles. Les L4 ont un anus terminal (Wouts, 1985).

### **II-5-1- Le mâle**

Le mâle est mobile et migrateur (Shephard et al., 1973 ; Person-Dedryver, 1989). Filiforme, il mesure 1,5 mm (Rivoal et al., 1978) et possède une paire de spicules d'une longueur de 35 à

36 µm (Vovlas, 1985) qui jouent un rôle lors de la copulation (Person- Dedryver, 1989) (Fig. 04).

### II -5-2- La femelle

Sédentaire (Wouts, 1972 ; Stone et Hill, 1982), globuleuse, sphérique ou citriforme, elle est de 0,5 à 0,8 mm de longueur et 0,4 à 0,6 mm de largeur (Schneider, 1965 ; Williams et Siddiqi, 1972 ; Rivoal, 1973 et Rivoal et *al.*, 1978 ; Rivoal et Cook, 1993). Elle est de couleur blanchâtre puis elle devient sombre à la maturité (De Guiran, 1983).

Sa tête présente un cou proéminent et sa partie postérieure présente un cône vulvaire (Williams et Siddiqi, 1972 ; Mulvey et Golden, 1983 et Wouts, 1985). (Fig 04).

La femelle assure la ponte, puis se transforme en kyste brun (Nobbs, 1989) bourré d'œufs (Shneider, 1965 ; Rivoal, 1973 ; De Guiran, 1983 ; Reddy, 1983 et Person-Dedryver 1989).

### II -5-3. Le kyste

Le kyste est une forme de résistance. C'est le corps de la femelle adulte dont la cuticule subit un tannage quelques semaines après sa mort, puis durcit et devient rugueuse, Elle se présente en zigzag (Williams et Siddiqi, 1972 ; Rivoal, 1973 ; Bachelier, 1978 ; De Guiran, 1983 ; Vovlas ,1985 et Nobbs, 1989). Son rôle est principalement protecteur (Shepherd et *al.*, 1972). Cependant, Williams et Seddiqi (1972) rapportent que le kyste contient de 200 jusqu'à 600 œufs. Fig 05 (B).

La forme, la taille et la couleur du kyste varient d'une population à l'autre (Mokabli, 2002). Il est généralement citriforme, dont sa largeur s'étale de 412 à 555µm et sa longueur varie de 618 µm jusqu'à 823µm, de couleur brun foncé (Anderson, 1968 ; Rivoal, 1973 ; Reddy, 1983 ; Rivoal et Sarr, 1983 ; Sacristan et *al.*, 1983 ; Vovlas , 1985 ; Noobs, 1989, Mokabli, 2002, Oudene, 2010 ) (Fig. 05 (A)).

### II -7-Cycle biologique

Le cycle évolutif d'*Heterodera* sp. des céréales comprend cinq stades larvaires séparés par quatre mues (Choppin de Janvry, 1971) (Fig 06).

La première mue a lieu à l'intérieur de l'œuf. Lorsque les conditions climatiques (humidité et température) sont favorables, les larves L2 éclosent. Ces dernières sont mobiles et émergent du kyste par la fente vulvaire (Banyer et Fisher, 1971). Une fois libérées dans le sol, celles-ci attaquent les racelles dès la levée de la plante hôte (céréales) (Shneider, 1965) et pénètrent dans les tissus de la racine près de son extrémité et elles se fixent pour s'alimenter et s'agrandir passant par la troisième et la quatrième mue larvaire quelques jours après. Les larves subissent la dernière mue larvaire. Elles deviennent gonflées et sédentaires et complètement internes.



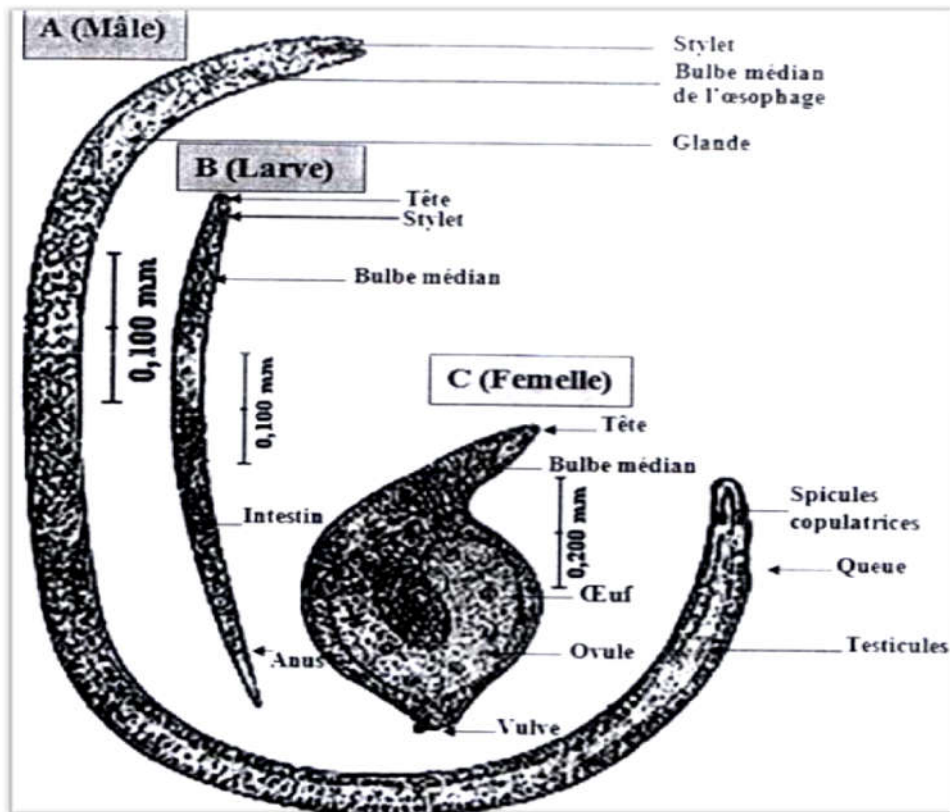
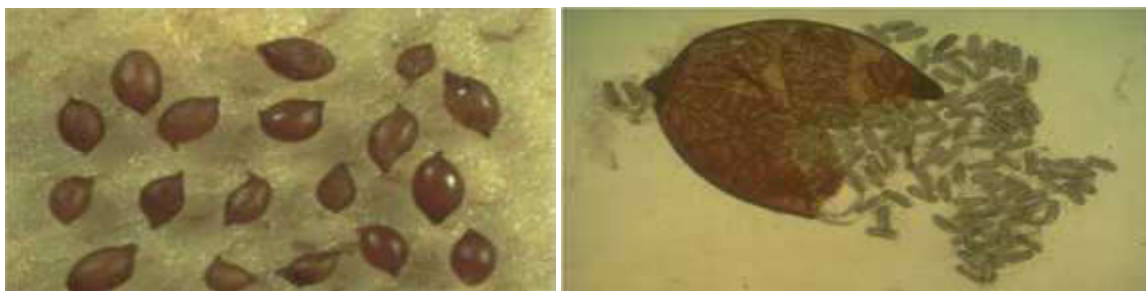


Figure 04: Morphologie du nématode à kyste *Heterodera* sp (Taylor, 1968).



A

B

Figure 05 : Kyste plein (A), kyste écrasé (B) montrant les œufs d'*Heterodera* sp. (Hodda et Lowrence, 2009).

Ces larves deviennent soit des femelles fixées par le cou et dont le corps est émergé à la surface de la racine soit des mâles filiformes libérés dans le sol (Choppin de Janvry, 1971). Ces derniers se déplacent et fécondent les femelles (Lachenaud, 1977).

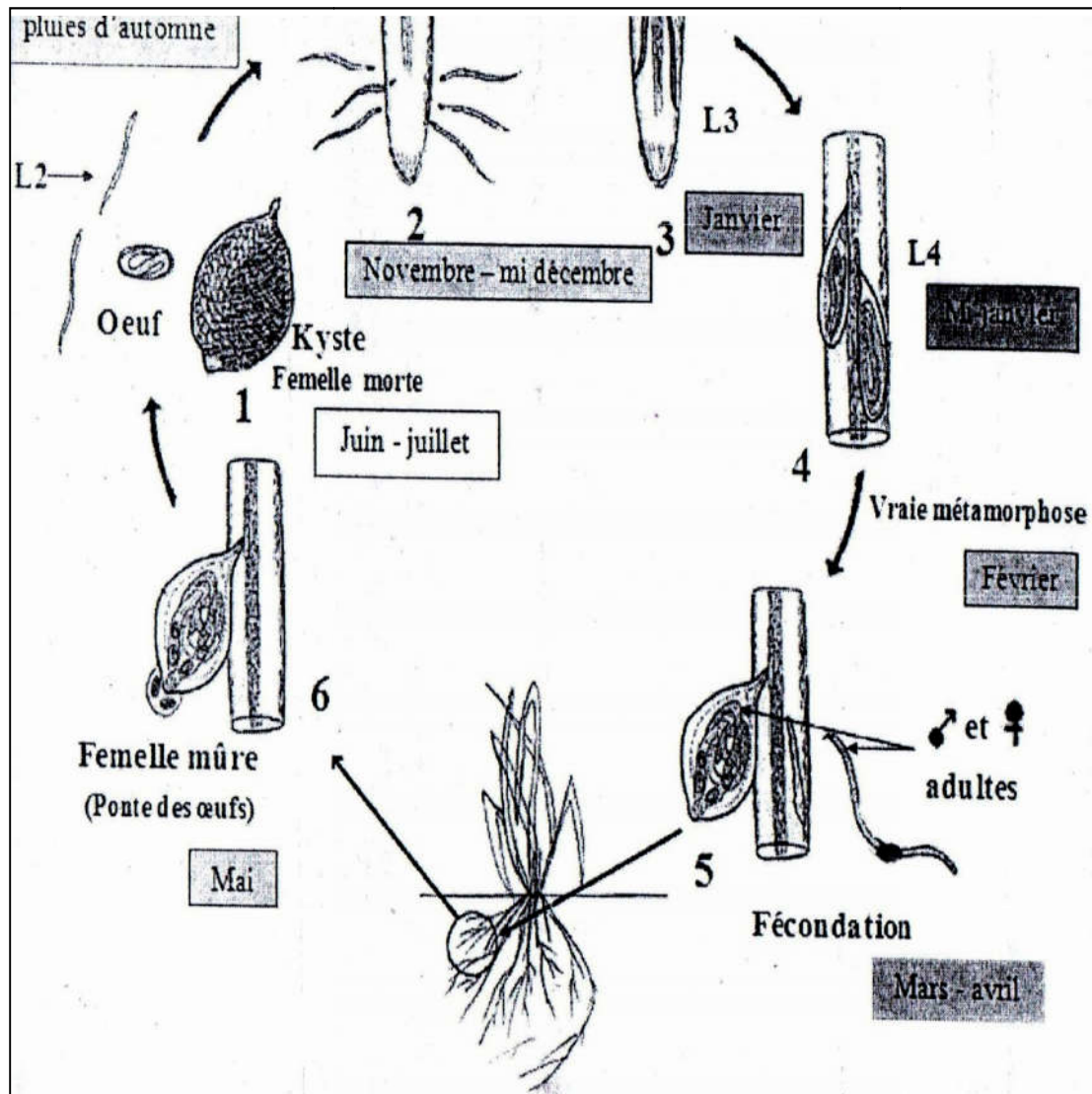


Figure 06 : Cycle biologique d'*Heterodera* sp. (Rivoal, 1987).

- 1 : Corps de la femelle morte transformé en kyste contenant les œufs.
- 2 : L2 écloses mobiles à la recherche de radicelles.
- 3 : Larves ayant rejoint leur site définitif et se transforment en L3.
- 4 : Transformation des larves L3 en L4.
- 5 : Différenciation du sexe (mâle et femelle adultes), le mâle est libre dans le sol.
- 6 : Femelle adulte faisant saillie hors de la racine et commençant à produire des œufs.

Les mâles meurent après la fécondation et les femelles commencent à pondre les œufs qui restent à l'intérieur du corps de la femelle. Après sa mort, la femelle se transforme en kyste contenant presque toujours des œufs et quelques larves à la fois (Choppin de Janvry, 1971).

En effet, les larves se trouvent en arrêt de développement sous l'effet d'une diapause et le cycle est ainsi bouclé (Rivoal et Cook, 1993).

De ce fait, ce nématode n'a qu'une seule génération par an (dure neuf mois), dont il peut être différent d'une région à une autre, selon la localisation géographique des populations (Rivoal, 1982), alors que l'éclosion du même kyste se manifeste pendant trois à quatre ans successifs (Rivoal, 1983).

## **II-8- Les facteurs qui influencent le développement d'*Heterodera* sp.**

Le nématode *Heterodera* sp. peut être influencé par les différents facteurs de manière directe et indirecte. Les facteurs physico-chimiques du sol peuvent agir directement sur les nématodes. Les conditions du sol influencent le développement des végétaux et indirectement les peuplements d'*Heterodera* (Graham, 1980).

### **II -8-1-Les facteurs abiotiques**

#### **II -8-1-1-Facteurs climatiques**

##### **II-8-1-1-1- L'humidité**

La présence d'une humidité convenable au niveau des sites d'attaque d'un nématode endoparasite favorise la pénétration des larves (Caubel et *al.*, 1980), c'est pourquoi les attaques d'*Heterodera* coïncident avec les périodes pluvieuses (Meagher, 1970 ; Caubel et *al.*, 1980 ; Lacombe et Garcin, 1980).

Lorsqu'il n'existe pas de film d'eau, les nématodes se déshydratent et meurent ou s'enkystent, par conséquent, l'excès d'eau induit une réduction de l'oxygénation du sol et une asphyxie du parasite ainsi que des phénomènes secondaires tels que la multiplication de certains microorganismes, libérant dans le sol des substances toxiques pour *Heterodera* (Cayrol, 1975).

##### **II -8-1-1-2- La température**

Elle a un rôle prédominant dans le développement d'*Heterodera* sp. Selon Greco (1981) et Mokabli et *al.*, (2001), les basses températures stimulent l'éclosion et le développement des larves, alors que les hautes températures les inhibent. En effet, une température au-dessous de zéro, en l'occurrence, s'avère nuisible pour le nématode.

En Algérie, d'après Smaha (1998), Mokabli et *al.*, (2001) et Hamroun (2006), la température optimale pour l'évolution de ce parasite s'étale de 7 à 25°C. Selon Mokabli et *al.*, (2001), les exigences de la température varient d'un stade à un autre, voire d'une population à une autre (Tabl. 02).



**Tableau 02** : Degré de température de chaque stade de développement d'*Heterodera* sp. en Algérie

Stade de développement	Température (°C)
Obtention des larves	7 à 10
Développement des L <sub>2</sub>	10 à 15
Formation des femelles	15 à 25

## II- 8-1-2- Facteurs édaphiques

### II-8-1-2-1-Type de sol

*Heterodera* sp se rencontre sur tous les types de sol (Caubel et *al.*, 1980), mais ses attaques sont plus redoutées en sols légers (Williams et Siddiqi, 1972 ; Caubel et *al.*, 1980) qu'en sols lourds (Choppin de Janvry, 1971). D'après (Trigiano et *al.*, 2004), la texture et la structure de sol sont d'importance primaire en déterminant le nombre et le type de nématode.

### II -8-1-2-2-La porosité

Elle favorise le déplacement des nématodes vers les horizons profonds où ils constituent un potentiel infectieux assurant ainsi la pérennité du parasite (Choppin de Janvry, 1971 ; Williams et Siddiqi, 1972 ; Caubel et *al.*, 1980).

### II -8-1-2-3- L'oxygène

L'absence d'air dans les sols inondés (Cayrol, 1975) et dans les sols lourds, (Choppin de Janvry, 1971), limite le développement d'*Heterodera* sp.

### II-8-1-2-4- Le pH

Un sol à pH neutre ou légèrement basique 7,8 est favorable au développement d'*Heterodera* sp. (Caubel et *al.*, 1980).

## II-8-2- Les facteurs biotiques

### II- 8-2-1- La plante hôte

Les plantes hôtes des nématodes à kystes des céréales incluent toutes les céréales cultivées Rivoal et Cook, (1993). En fonction de degré de sensibilité, Gaire et *al.*, (1965) ainsi que Johnson et Fushthey (1966) ont classé l'avoine comme étant l'hôte le plus sensible. Ritter (1982) a classé le blé et l'orge en deuxième position, tandis que le maïs est atteint de manière variable selon les régions. On ajoute le degré de résistance des variétés utilisées de chaque plante cultivée. Ces espèces de graminées et autres sauvages maintiennent en permanence ces nématodes, notamment dans les zones où la céréaliculture est la plus dominante (Mokabli ,2002).

### **II-8-2-2- La matière organique**

D'après Jones (1982), la composition de la matière organique dans le sol libère certains produits toxiques tels que l'acide butyrique qui agit négativement sur le développement des nématodes. La matière organique induit une augmentation ou une diminution dans l'abondance des nématodes du sol.

### **II -9- Les facteurs de dissémination**

Les nématodes à kyste des céréales *Heterodera* sp. sont des espèces minuscules de très petite taille. Elles ne se déplacent que sur les petites distances d'environ 20 cm par an. A ce rythme, il semble surprenant que les populations des nématodes soient aussi largement distribuées à travers le monde (Sadek, 1977).

#### **II-9-1- L'homme**

Les kystes d'*Heterodera* sp. peuvent être transportés d'une parcelle infestée à une autre par les chaussures non désinfectées. L'homme est le principal responsable de la dissémination par ses activités.

#### **II-9-2- Le matériel**

Le matériel agricole joue un rôle important dans la dissémination des nématodes à kystes comme le genre *Heterodera*. Ce dernier constitue un mode de propagation de ce nématode. Les kystes sont transportés par le matériel à travers les champs.

#### **II-9-3- Le vent**

Plusieurs auteurs montrent que le vent joue un rôle dans la dissémination des nématodes à kyste (Sadek, 1977 ; Gaur, 1988).

#### **II-9-4- L'eau**

L'eau d'irrigation est un moyen de transport des nématodes à kystes (Sadek, 1977). La technique d'irrigation par rigole constitue l'un des facteurs de dissémination des parcelles par *Heterodera* sp..

### **II-10- Les symptômes et dégâts**

#### **II-10-1- Au champ**

Une parcelle infestée par *Heterodera* sp. présente des taches claires, des plages jaunâtres où poussent des plants chétifs avec un tallage très faible (Williams et Siddiqi, 1972 ; Reddy, 1983 ; Person-Dedryver, 1989). La culture est hétérogène et est aussitôt envahie par les mauvaises herbes (De Guiran, 1983 ; Sacristan et al., 1983).

## **II-10-2- Sur la plante**

### **II-10-2-1- La partie aérienne**

Au niveau de la partie aérienne, les attaques d'*Heterodera* sp. se traduisent par :

#### **II -10-2-1-1- Un rabougrissement**

On observe chez les céréales attaquées un nanisme puis un ralentissement de la croissance au niveau de la tige et une réduction du tallage donnant des épis maigres (Reddy, 1983 ; Rivoal et *al.*, 1990 ; Mor *al.*, 1992).

#### **II-10-2-1-2- Une décoloration du feuillage**

Les feuilles de plantes attaquées se décolorent puis prennent une couleur jaune, rouge, jaune rougeâtre pour l'orge, l'avoine et le blé respectivement (Williams et Siddiqi, 1972 ; Sacristan et *al.*, 1983 et Rivoal et Cook, 1993). Ces symptômes (rabougrissement et décoloration du feuillage) ne sont pas spécifiques et résultent d'un dysfonctionnement du système racinaire.

#### **II -10-2-2- La partie racinaire**

C'est à ce niveau que les symptômes sont très spécifiques (Schneider, 1965). Les racines prennent un aspect touffu, avec de nombreuses radicules courtes. Le symptôme le plus caractéristique est la formation des nœuds au niveau des racines (Ritter, 1965 ; Caubel et Rivoal, 1972 ; Esmenjaud et *al.*, 1987 ; Mokabli, 2002).

L'analyse nématologique reste la seule technique fiable et efficace pour un bon diagnostic de ce parasite (présence, degré), en tenant compte des facteurs (biotiques et abiotiques cités précédemment. Selon Sosa Moss (1966), une infestation de 10 larves par gramme de sol engendre une diminution importante de la production. Aussi, il peut ouvrir des portes d'entrée pour d'autres agents pathogènes comme le champignon *Rhizoctonia solani* (Meagher, 1974).

## **II -11-Méthodes des lutte contre *Heterodera* sp.**

La lutte contre *Heterodera* sp. est très difficile à cause de la longue durée de vie des kystes dans le sol (Sacristin et *al.*, 1983).

### **II -11-1-La lutte culturale**

La lutte culturale est apparemment la plus adéquate en culture céréalière (Rivoal, 1986). Elle consiste en une succession de cultures plus de moins défavorables au développement des nématodes.

La culture des plantes non hôtes, la jachère, toutes plantes autres que la céréale se traduisent par une réduction annuelle et naturelle des populations de 50% à 60% (Rivoal 1975).

## **II -11-2-Lutte biologique**

Parmi les champignons parasites d'œuf (*Verticillium clamycporium*, *Nematophthora gynophila*) sont fortement impliqués dans la limitation des densités des nématodes à kystes tels *Heterodera* sp. (Tribe et Acryol, 1989 in Labdelli, 1995), qui semble avoir une large répartition géographique (Cayrol et al., 1982).

Bien que la rotation culturale et l'utilisation des variétés résistances constituent actuellement les moyens de lutte les plus adoptés contre les nématodes à kyste des céréales, la lutte biologique est une alternative à explorer avec pour candidats les antagonistes naturels de ces nématodes (Mensi et al., 2011).

La lutte biologique consiste à réduire les populations de nématodes grâce à l'action des microorganismes vivants qui se produit naturellement ou par manipulation de l'environnement ou l'introduction d'antagonistes (Stirling, 1991).

### **II-11-2-1-Champignons antagonistes des nématodes à kystes des céréales**

Les champignons occupent une place importante dans la régulation des populations de nématodes dans le sol. Certains ont montré un grand potentiel comme agents de lutte biologique (Dackman et Nordbrin-Hertz, 1985 ; Kerry, 1988 ; Siddiqui et Irshad, 1996).

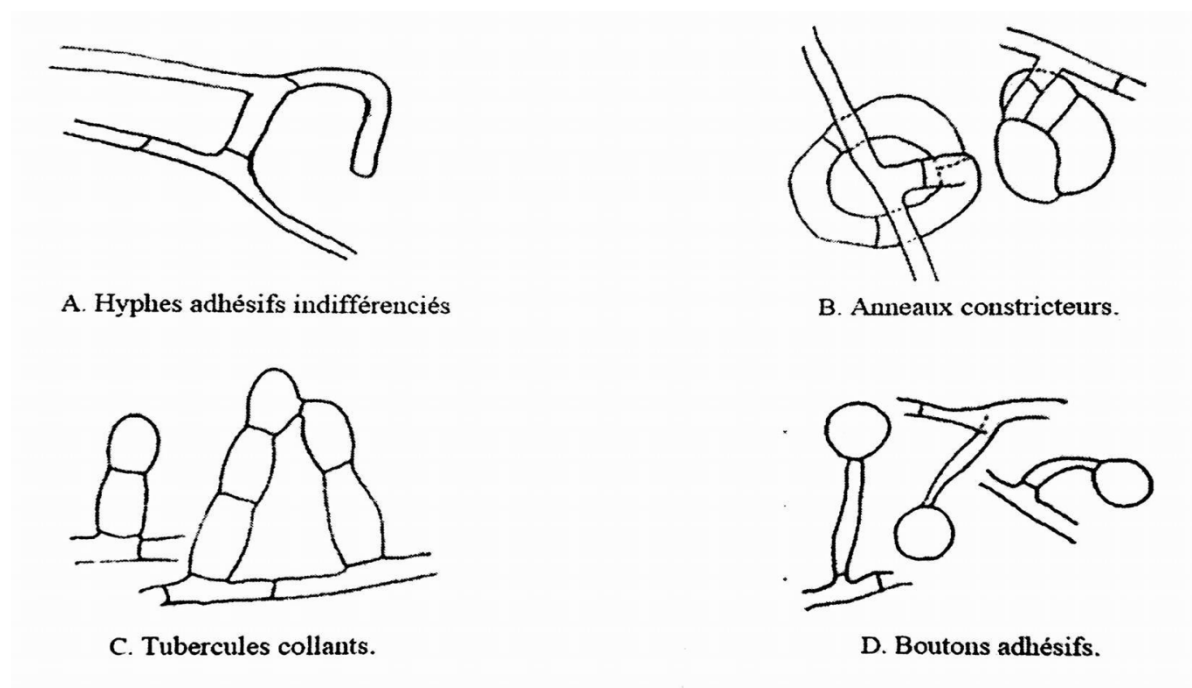
Ces organismes microscopiques peuvent capturer, tuer et digérer les nématodes (Jonsson et Lopez-Llorca, 2001). Il existe trois groupes de champignons antagonistes (Jonsson et Lopez-Llorca, 2001).

#### **II-11-2-1-1- Champignons prédateurs**

Les champignons nématophages de piégeage capturent les nématodes mobiles grâce à leurs différents organes spécialisés dits pièges (Fig. 07). Leur structure morphologique est variable selon les espèces fongiques. Certains forment des filets ou des boutons adhésifs, d'autres possèdent des branches adhésives ou des anneaux constricteurs (Ahren et Tunlid, 2003).

#### **II-11-2-1-2- Champignons parasites**

Ils infectent les nématodes en utilisant des spores adhésives (Jonsson et Lopez-Llorca, 2001) et des zoospores qui s'attachent à la surface de la femelle blanche (Casas-Flores et Herrera, 2007). Ils se nourrissent de son contenu et le remplacent éventuellement par leurs spores, l'empêchant ainsi de se transformer en kyste (Kerry et Crump, 1980). Certains champignons parasitent également les œufs et les kystes grâce à leurs hyphes (Jonsson et Lopez-Llorca, 2001) (Fig.07)



**Figure 07** : -Types de pièges des hyphomycètes (Kerry et Crump, 1980).

#### II-11-2-1-3- Endoparasites obligatoires

C'est un groupe de champignons qui ne peuvent pas proliférer dans le sol en absence des nématodes. *Nematophthora gynophila* parasite les femelles d'*Heterodera* sp., baisse leur reproduction (Kerry et al., 1982b) et empêche la formation des kystes (Kerry et Crump, 1998 et Ciancio et al., 2002).

#### II-11-2-1-4--Endoparasites facultatifs

Ce sont des champignons capables de proliférer dans la rhizosphère, même en absence des nématodes hôtes. Leurs filaments pénètrent dans les œufs en perforant la coque puis détruisent les embryons. Ils s'attaquent aussi bien aux œufs du genre *Meloidogyne* qu'à ceux du genre *Heterodera* (Cayrol, 1992).

Près de 150 espèces de champignons colonisent les femelles, les kystes et les œufs de 8 espèces de nématodes à kystes (Kerry, 1988). Ces derniers peuvent être infectés à différents stades de leurs cycles de vie (Dackman et Nordbring-Hertz, 1985).

*Verticillium chlamydosporium* est un hyphomycete qui parasite aussi bien les oeufs que les femelles de la rhizosphère et provoque la réduction de leur fécondité (Kerry et al., 1982 a ; Cayrol et al., 1982 ; Dackman et Nordbrin-Hertz, 1985 et Kerry et Crump, 1998). Il est considéré comme étant le principal ennemi naturel d'*Heterodera* (Sayer, 1986 et Lopez-Llorca et al., 2002).

*Paecilomyces lilacinus* se caractérise par des filaments qui percent la coque de l'œuf grâce à des enzymes appropriées, pénètrent à l'intérieur et parasitent l'embryon (Lopez-Llorca et al., 2002).

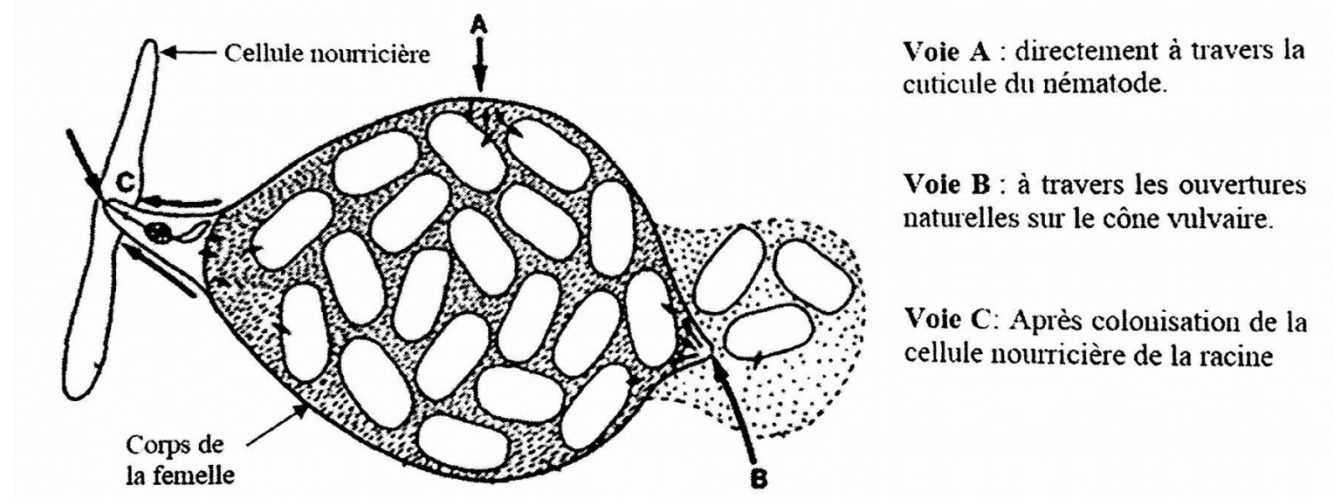
*Fusarium oxysprum* et *Acremonium strictum* sont les principaux parasites des œufs d'*Heterodera schachtii* nématodes à kyste de la betterave en Californie (Dackman et Nordbring-Hertz, 1985).

Chez les nématodes à kystes du soja, *Heterodera glycines*, 61 espèces de champignons sont isolées et identifiées à partir de différents stades du nématode, avec une dominance de l'espèce *Fusarium solani* chez les kystes, *Fusarium oxysporum* chez les femelles blanches et *Paeciomyces lilacinus* chez les œufs (Chen et Chen, 2002).

Mensi et al. (2002) ont isolé l'espèce *Pochonia chlamydosporia* et 11 autres genres fongiques tels que *Aspergillus* sp., *Periconia* sp., *Rhizopus* sp., et *Alternaria* sp., qui sont associés à *Heterodera* sp dans différentes régions de la Tunisie.

#### II-11-2-2- Modes de pénétration des champignons

Avant l'infection, les champignons adhèrent à la paroi du corps de la femelle puis ils pénètrent à travers cette barrière protectrice pour atteindre les œufs (Jonsson et Llopez-Llorca, 2001). Leur pénétration se fait selon trois voies possibles (Fig. 08).



**Figure 08** : -Sites possibles d'infection d'un nématode à Kyste par les champignons du sol (Kerry, 1988).

Les champignons parasites présentent un grand potentiel de lutte biologique (Stirling, 1991), mais elle reste insuffisante pour maintenir à elle seule les populations de nématodes en dessus de leur seuil économique et doit être associée à d'autres méthodes de gestion (Hildalgo-Diaz et Kerry, 2008).

### II -11-3-Lutte chimique

*H. avenae* peut être maîtrisé en utilisant certains traitements à action de contact à base de fumigants (dichloropropane dichloropropène (DD), dibromide d'éthylène (EDB) et Dazomet) (Rivoal et al., 1986 b), d'organophosphorés (Ethoprophos), (Caubel et Rivoal, 1977) ou à action systémique à base de carbamates (aldicarbe, carbofuran) (Rivoal et al., 1985).

En Algérie, l'application de la lutte chimique contre *H. avenae* est rarement utilisable dans la Pratique en raison du cout généralement élevé des produits nématicides

### II -11-4-Variétés résistantes

C'est l'usage des variétés résistantes qui constitue actuellement le moyen le plus approprié pour limiter l'incidence des principaux nématodes nuisibles aux cultures céréalières.

La création de variétés résistantes se fait par l'incorporation des gènes de résistance des espèces sauvages dans les espèces cultivées sensibles.

La lignée d'addition issue du croisement Blé-*Aegilops ventricosa* exprime une importante résistance du développement des *Heterodera* sp. (Rivoal et Dosba, 1981 ; Rivoal et al, 1986 ; Rivoal et al., 1993).

### II-11-5-Désherbage

Il faut maintenir nos parcelles propres de tous les résidus des cultures céréalières et des mauvaises herbes qui peuvent être des hôtes à ce parasite (Mokabli, 2002).

### II-12- Mode d'action des antagonistes sur nématode à kyste *Heterodera* sp.

Type d'ontagonisme	Genre et espèce	Mécanisme de piégeage
1-Les champignons prédateurs	<i>Arthrobotrys irregularis</i>	Pièges : en réseaux, en anneaux, boutons collants ou spires
2-Les champignons ovicides	A) <i>Paecilomyces lilacinus</i>	Les filaments de <i>P. lilacinus</i> percent la coque de l'œuf grâce à des enzymes appropriées, puis pénètrent à l'intérieur et parasitent l'embryon.



	B) <i>Verticillium chlamydosporium</i>	Les filaments pénètrent dans les œufs en perforant la coque puis détruisent les embryons. Il s'attaque aussi bien aux œufs d' <i>Heterodera</i> qu'a ceux de <i>Meloidogyne</i>
3 -Les champignons nématophages à spores adhésives	a) Oomycètes : <i>catenaria anguillulae</i> <i>Myzocytiium lenticulare</i> <i>M. anomalum</i>	Forment des zoospores biflagellées, capables de se diriger vers les nématodes et de se fixer sur leur cuticule en s'y enkystant. Ensuite, ces spores germent et pénètrent dans le corps de la proie ou elles produisent un thalle infectieux qui donne naissance à des zoosporanges globuleux.
	b) Zygomycètes : <i>Meristarum</i> <i>asterospermum</i>	Elles possèdent des conidies sphériques qui se collent sur le corps du nématode. Après avoir produit un filament germinatif qui s'enfonce dans l'hôte, le champignon y développe un thalle boursoufflé, en donnant de nouveaux conidiophores.
	c) Deutéromycètes : <i>Meria coniospora</i>	Les spores en forme de massue se fixent sur la cuticule de l'hôte par leur extrémité antérieure. La spore produit un hyphe qui s'enfonce dans l'hôte puis génère un mycélium dense qui envahit le corps de la proie et fructifie sous forme de conidiophores sortant de la dépouille parasitée
	d) Basidiomycètes : <i>Nematoctonus leiosporus</i>	Possèdent aussi des spores adhésives en forme de bâtonnets se fixant sur la cuticule du nématode par une de leurs extrémités et produisant un mycélium parasite qui envahit le corps de l'hôte
	E) Hyphomycètes : <i>Hirsutella</i>	A spores adhésives
4- Les endomycorhizes à vésicules et à arbuscules	<i>Endogonaceae</i> <i>Endogona gigantea</i> <i>Glomus Fasciculatus</i> <i>G.mosseae</i> <i>G.tenue</i> <i>G.margarite</i>	Forment une association symbiotique avec les racines des plantes. Elles ont une gamme d'hôtes très large comportant des plantes sauvages et des plantes cultivées. Ce sont des endogonaceae, possédant un double réseau mycélien : un réseau externe dans le sol et un réseau interne dans les tissus de la racine-hôte



5 -Les bactéries antagonistes des nématodes	<i>Pasteuris penetrans</i>	Certain nombre de bactéries sécrètent des métabolites toxiques pour les nématodes, se fixent sur la cuticule des nématodes quand ceux-ci les affleurent en se déplacent dans la terre. L'adhésion des endospores sur l'épiderme des nématodes serait due à une interaction du type lectine-sucre
6 -Les toxines de micro-organismes	<p>Bactérie :</p> <p><i>Bacillus et Pseudomonas</i></p> <hr/> <p>Actinomycètes :</p> <p><i>Actinomadora et Streptomyces</i></p> <hr/> <p><i>Bacillus thuringiensis</i></p> <hr/> <p><i>Streptomyces avermitilis</i></p> <hr/> <p>Champignons :</p> <p><i>Alternaria, Aspergillus, Fusarium, Rhizoctonia Sclerotium, Penicillium, (toxines nématocides) Arthrobotrys, Nematocionus, Dactylaria, Curvularia Trichoderma longibrachiatum Fusarium roseum var. arthrosporioides</i></p>	Une substance non-enzymatique, de faible poids moléculaire, produite par un micro-organisme et nocive à faible concentration

# **Partie Expérimentale**

**Chapitre I**  
**Degré d'infestation**  
**des céréales**

## Chapitre I : Degré d'infestation des céréales par *Heterodera* sp.

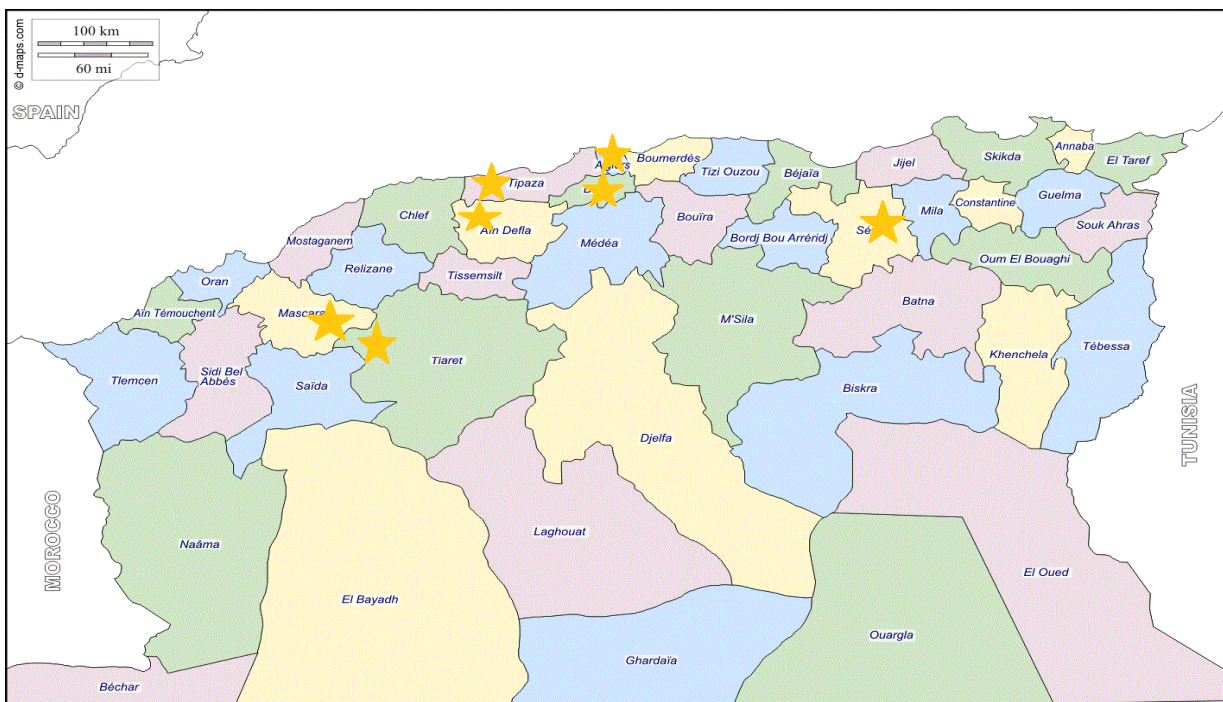
### Introduction

Les dégâts dus aux nématodes phytophages en grandes cultures passent souvent inaperçus et les symptômes qu'ils occasionnent sont peu spécifiques. C'est pourquoi l'analyse nématologique reste le seul diagnostic fiable.

Cette technique d'investigation de ce nématode au niveau du sol est basée sur un échantillonnage consistant à une recherche du nématode à l'état de kyste extrait à l'aide de l'appareil de Fenwick.

### I- 1 Matériel et méthodes

Des prospections ont été effectuées entre janvier et mars 2016 dans les wilayas de Tiaret (Dahmouni), Mascara (Tighennif), Aïn Defla (Djendel), Blida (Mouzaïa), Tipaza (Tipaza), Alger (Oued Smar) et Sétif (Guellal) (Fig. 09.).



**Figure 09:** Situation géographique des wilayas.

Un total de 7 échantillons de sol des différentes parcelles a été prélevé et ramené au niveau du laboratoire de Nématologie de l'INPV (Alger) pour déceler la présence du nématode à kyste *Heterodera* sp.

Pour déterminer le degré d'infestation des parcelles, il est indispensable de faire appel à l'analyse nématologique qui se réalise en trois étapes :

- Echantillonnage du sol
- Extraction des kystes
- Récolte et comptage des kystes

### **I-1-1-Matériel d'échantillonnage**

Le matériel nécessaire au prélèvement du sol est le suivant :

- Une tarière
- Des sachets en plastique
- Des étiquettes

### **I-1-2-Technique d'échantillonnage**

L'échantillonnage consiste à prélever des quantités de sol à des profondeurs allant de 10 à 40 centimètres, à partir de parcelles emblavées en céréales. Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une tarière, à raison de 40 prises de 50 grammes environ chacune (échantillons élémentaires) (Mugniéry et Zaouchi, 1976) (Fig 10). Ils ont été réalisés suivant les deux diagonales de chaque parcelle prospectée. L'échantillonnage est effectué sur des surfaces proches de 12 m<sup>2</sup> (2,4 x 5) (Rivoal, 1986 b).

Le sol ainsi récolté est mis dans des sachets en plastique. Chaque échantillon est muni d'une étiquette indiquant la date, le lieu, la profondeur de l'échantillonnage, le précédent cultural, l'état et le numéro de la parcelle.

Les échantillons sont ensuite acheminés vers le laboratoire central de Nématologie de l'INPV (Alger). Ils sont desséchés puis pesés afin de procéder à leur analyse.



**Figure10** : Prélèvement du sol (Original, 2016).

### **I-1-3-Matériel d'extraction des kystes**

Dans le but de séparer les kystes d'*Heterodera* des autres matériaux du sol, nous avons utilisé la méthode classique décrite par Fenwick (1940) sur l'appareil modifié par Oostenbrink (1960) (Nakachian et Jacqemont, 1971). Le matériel utilisé est le suivant :

- Un appareil de Fenwick
- Une passoire de 1 mm de maille
- Un tamis de 250  $\mu\text{m}$
- Du papier filtre
- Des entonnoirs portés par des Erlen-Meyer
- Des boîtes de Pétri et une pissette

### **I-1-4-Méthode d'extraction**

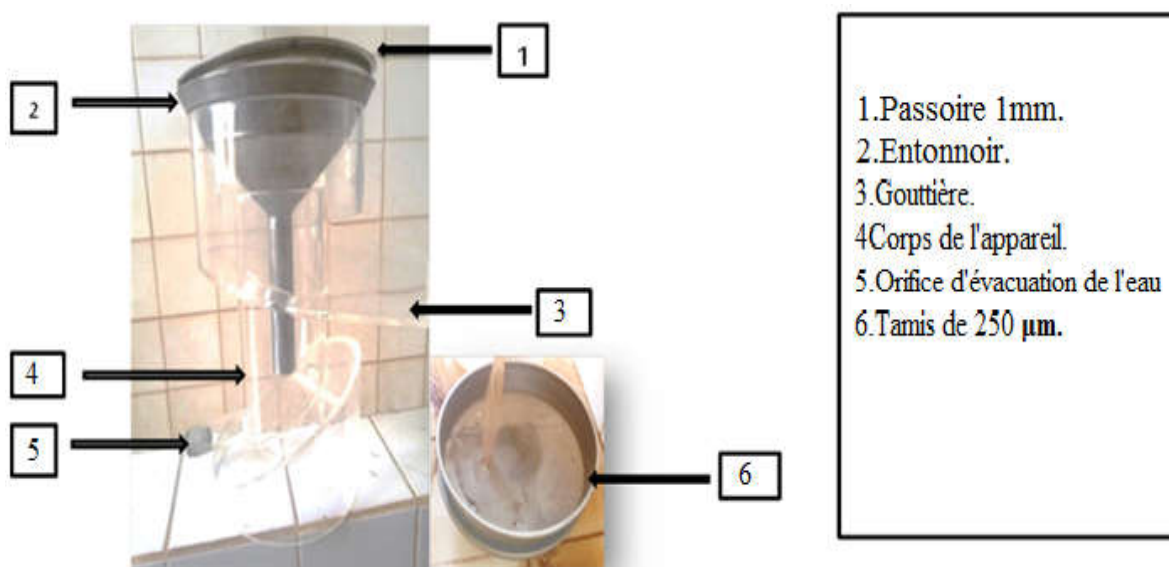
#### **I-1-4-1-Le principe**

Le principe du fonctionnement de l'appareil de Fenwick est basé sur la densité des kystes par rapport à celle de l'eau ((Nakachian et Jacqemont, 1971). Le kyste plein et humide d'une femelle d'*Heterodera* a une densité supérieure à 1,08. En revanche, un kyste sec, quel que soit son contenu, a une densité inférieure à 1. Ainsi, le kyste plein et humide sédimente très vite, alors que le kyste sec flotte à la surface de l'eau, ce qui permet de le récupérer facilement. C'est pourquoi l'opération nécessite un dessèchement préalable du sol contenant les kystes (Nakachian et Jacqemont, 1971).



### I-1-4-2-Description de l'appareil de Fenwick

L'appareil de Fenwick est un récipient en forme de cône, dont le fond est constitué par un plan oblique incliné vers un orifice permettant la vidange. La partie supérieure est aménagée d'une diverse munie d'une gouttière orientant l'écoulement lorsque le récipient déborde. L'écoulement est orienté vers un tamis de 250  $\mu\text{m}$  (Fig. 11)



**Figure 11** : Appareil de FENWICK (Original, 2016).



L'échantillon de sol à extraire est placé dans une passoire de 1 mm déposée à l'intérieur d'un entonnoir.

#### I-1-4-2-1-Mode opératoire

L'extraction des kystes telle décrite par Nakachian et Jacquemont (1971) et Bachelier (1978) consiste à entraîner le sol séché à travers une passoire de 1 mm dans le corps de l'appareil par un jet d'eau (Fig. 12).



**Figure 12** : Ecoulement des refus sur tamis de 250  $\mu\text{m}$  (Original, 2016).

La passoire laisse passer les particules fines, tandis que les grosses particules minérales et végétales sont retenues. Les kystes qui flottent à la surface de l'eau sous l'action d'une impulsion du courant ascendant vont être entraînés dans la gouttière pour s'écouler sur le tamis. Le refus du tamis sera récupéré à l'aide de

jets d'eau d'une pissette sur un papier filtre tapissant un entonnoir porté par un Erlen-Meyer (Fig. 13).



**Figure 13** : Récupération de refus (matière organique + kystes) (Original, 2016).

Lorsqu'il est bien égoutté, le contenu du papier filtre est placé dans une boîte de Pétri pour la récolte des kystes.

### **I-1-4-3-Matériel de récolte des kystes**

Le matériel utilisé pour la récolte des kystes est le suivant :

- Un pinceau
- Une épingle
- Une loupe binoculaire

#### **I-1-4-3-1 Méthode de récolte**

Les kystes en mélange avec la matière organique sont isolés à l'aide d'une épingle et récoltés par un très fin pinceau imbibé d'eau sous la loupe binoculaire (Gr. 10 x1,6) (Fig. 14).

## **I-2 Calcul des degrés d'infestation**

La densité moyenne pour une même parcelle ou une même commune est calculée en rapportant le nombre de kystes extraits à partir de tous les échantillons prélevés dans cette même commune par rapport au poids total des échantillons (Mugniéry et *al.*, 1971).

Le degré d'infestation est exprimé en nombre de larves infestantes  $L_2$  par gramme de sol. Il est calculé en tenant compte du nombre total de kystes pleins/parcelle, tout en considérant le nombre moyen de  $L_2$ /kyste d'environ 340  $L_2$  (Smaha, comm. pers.)



**Figure 14 :** Récolte des kystes (Original, 2016).

### I-3 Résultats

#### I-3-1 Fréquence d'*Heterodera sp.* dans les communes prospectées

Les fréquences d'*Heterodera sp.* dans les communes prospectées sont représentées dans le tableau 03.

**Tableau 03 :** Fréquence d'*Heterodera sp.* dans l'ensemble des échantillons

Communes prospectées	Nombre d'échantillons prélevés	Poids (kg)	% des échantillons infestés
Guellal (Sétif)	1	2	100
Tighennif (Mascara)	1	2	100
Tipaza-ville (Tipaza)	1	2	100
Djendel (AïnDefla)	1	2	100
Mouzaïa (Blida)	1	2	100
Dahmouni (Tiaret)	1	2	100
Oued Smar (Alger)	1	2	100

Le nématode *Heterodera sp.* a été décelé dans l'ensemble des communes prospectées. Ce nématode est considéré parmi les principales contraintes qui affectent la production des céréales à l'échelle mondiale. Des dégâts évalués à plusieurs millions de dollars ont été observés dans une région à climat méditerranéen située dans le sud-est de l'Australie (Meagher, 1982).

Les résultats obtenus dans notre étude révèlent la présence d'*Heterodera sp.* dans notre pays à différents étages bioclimatiques, qu'il s'agisse du littoral ou des Hauts-Plateaux.

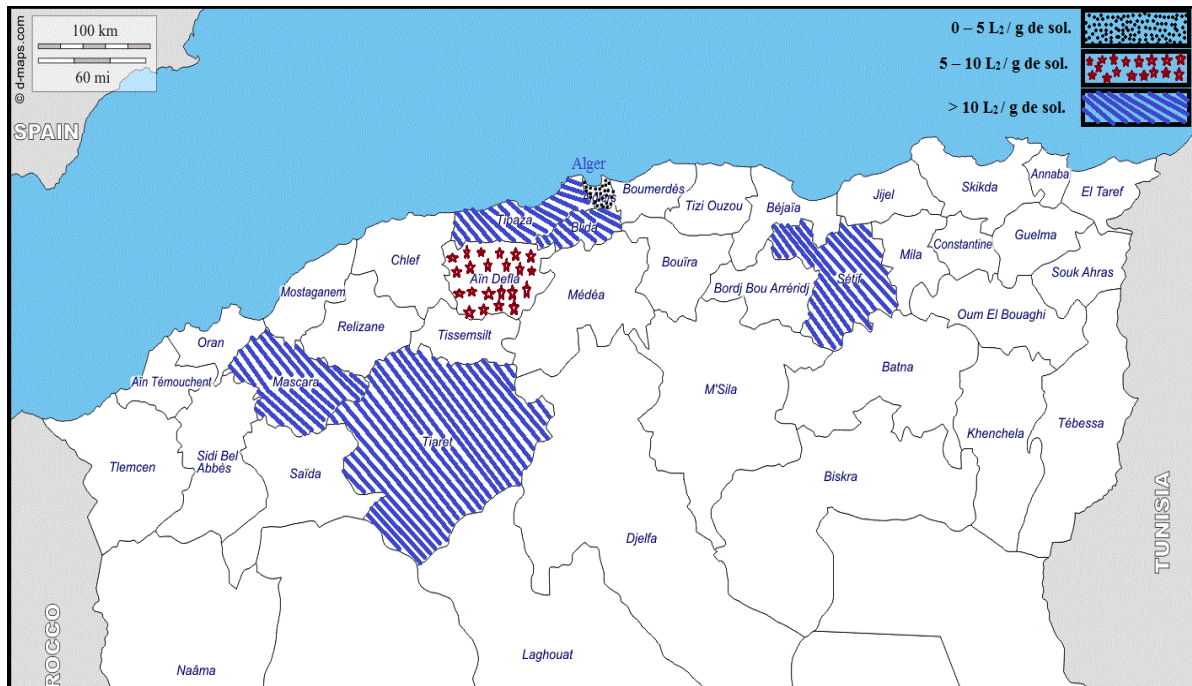
### I-3-2 Etat d'infestation des parcelles céréalières par *Heterodera* sp. dans les communes prospectées

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 04 représentant les pourcentages de kystes pleins et vides ainsi que la densité et le degré d'infestation des différentes communes prospectées.

**Tableau 04 :** Pourcentage de kystes pleins et vides, densité et degré d'infestation.

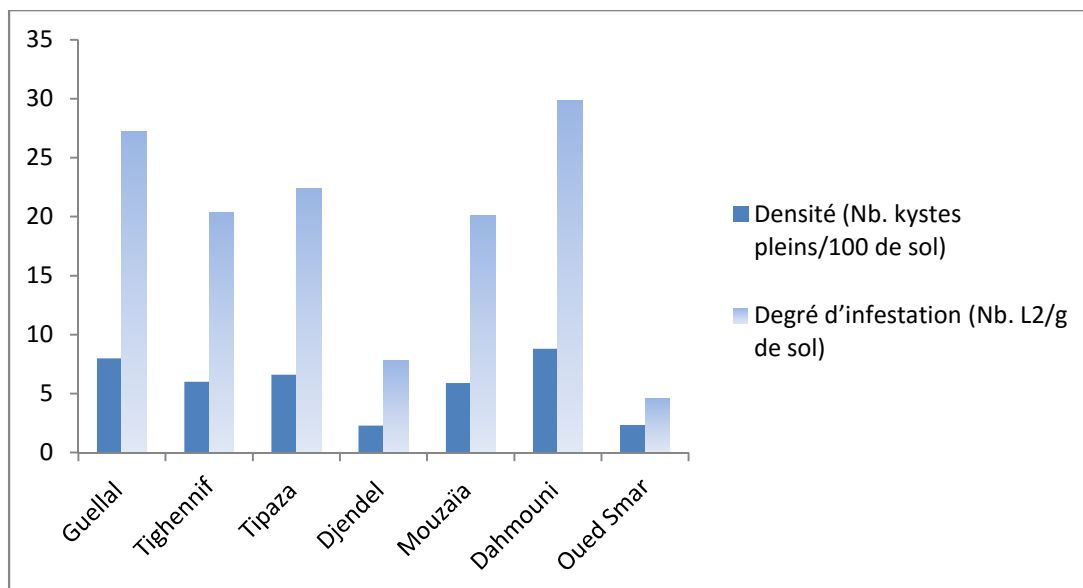
Commune	Nb. kystes pleins	Nb. kystes vides	Total des kystes	% des kystes pleins	% des kystes vides	Densité (Nb. kystes pleins/100g de sol)	Degré d'infestation (Nb. L2/g de sol)
Guellal	160	34	194	82,5	17,5	8	27,2
Tighennif	120	10	130	92,3	7,7	6	20,4
Tipaza	133	27	160	83,1	16,9	6,6	22,4
Djendel	47	12	59	79,7	20,3	2,3	7,8
Mouzaïa	118	9	127	93	7	5,9	20,1
Dahmouni	176	22	198	88,9	11,1	8,8	29,9
Oued Smar	27	20	47	57,4	42,6	2,35	4,6

Les degrés d'infestations des différentes parcelles de céréales prospectées au niveau des différentes communes sont représentés dans la figure 15.



**Figure15 :** Répartition et degrés d'infestation des parcelles de céréales par *Heterodera* sp.

Les résultats obtenus pour la comparaison entre la densité et le degré d'infestation des parcelles de céréales par *Heterodera* sp. sont représentés dans la figure 16.



**Figure 16:** Comparaison entre densité et degré d'infestation des parcelles de céréales par *Heterodera* sp.

#### I-4-Discussion

Des 7 échantillons de sol prélevés des différentes communes prospectées et analysés au niveau du laboratoire central de Nématologie de l'Institut National de la Protection des Végétaux à Alger, les kystes sont présents avec une fréquence de 100% (Tabl. 03).

Le nombre de kystes récoltés à partir des 7 échantillons est de 911, avec une prédominance de kystes pleins (85,7 p. cent) (Tabl 04). Les kystes vides représentent donc les 14,3 p. cent restants, ce qui indique, en référence à Ritter (1965 a), la présence d'une proportion importante de jeunes populations d'*Heterodera* sp.

Si l'on admet que le seuil de nuisibilité pour les pays du Bassin méditerranéen est de 10 L<sub>2</sub>/g de sol (Rivoal et al., 1980), celui-ci est largement dépassé pour les communes prospectées Guellal, Tighennif, Tipaza, Mouzaïa et Dahmouni, avec un degré moyen d'infestation de 18,9 L<sub>2</sub>/ de sol.

Cependant, les degrés d'infestation varient d'une commune à une autre. En effet, il est de 4,6 L<sub>2</sub>/g de sol à Oued Smar (Alger) pour la commune la moins infestée, et de 29,9 L<sub>2</sub>/g de sol à Dahmouni pour la commune la plus infestée (Fig. 15).

Notons par ailleurs que les valeurs des densités (nombre de kystes/100 g de sol) ne reflètent pas l'état d'infestation réelle d'une parcelle. A cet égard, nous constatons que les densités enregistrées à Djendel (Aïn Defla) (2,3 kystes/100 g de sol) et à Oued Smar (Alger) (2,35 kystes/100 g de sol) sont très proches l'une de l'autre.



Par contre, la comparaison de leurs degrés d'infestation respectifs (7,8 et 4,6 L2/g de sol) nous montre qu'il existe une nette différence concernant l'état d'infestation de leur parcelle (Fig. 16).

D'une manière générale, la gravité d'infestation des communes prospectées s'avère très variable, et par conséquent, nous pouvons classer ces zones comme suit :

<b>Commune (Wilaya)</b>	<b>Degré moyen d'infestation (L2/g de sol)</b>	<b>Classement</b>
Oued Smar (Alger)	4,6	Faiblement infestée
Djendel (Aïn Defla)	7,8	Moyennement infestée
Mouzaïa (Blida)	20,1	Fortement infestée
Tighennif (Mascara)	20,4	Fortement infestée
Tipaza (Tipaza)	22,4	Fortement infestée
Guellal (Sétif)	27,2	Fortement infestée
Dahmouni (Tiaret)	29,9	Fortement infestée

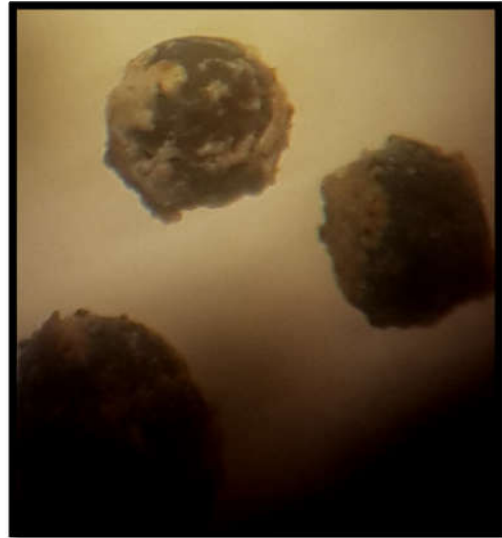
## **Chapitre II**

# **Isolement de la microflore des kystes *d'Heterodera sp.***

## Chapitre II-Isolement de la microflore à partir des kystes d'*Heterodera* sp.

### II-1- Matériels

- Hotte
- Boîtes de Pétri
- Pinceau
- Eau de Javel à 1%
- Eau distillée stérile
- Papier Wattman
- Incubateur
- Kystes (Fig. 17)



**Figure 17:** Kystes d'*Heterodera* sp.  
(Original, 2016).

Nous avons pris 15 kystes prélevés de chaque parcelle située dans les sept communes : (Tipaza (W. Tipaza), Djendel (W. Ain defla), Tighennif (W. Mascara), Mouzaia (W. Blida), Guellal (W. Sétif), Dahmouni (W. Tiaret) et Oued Smar (W. Alger).

### II-2- Préparation de milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar) (Rappily, 1968).

Le milieu PDA est composé de :

- 200g de pomme de terre
- 20 g de glucose
- 20g d'agar
- Qsp 1l d'eau distillée

Ce milieu est stérilisé à l'autoclave, à 120 °C pendant 20 minutes. Ensuite, il est coulé dans des boîtes de Pétri sous hotte stérile (Fig.18).

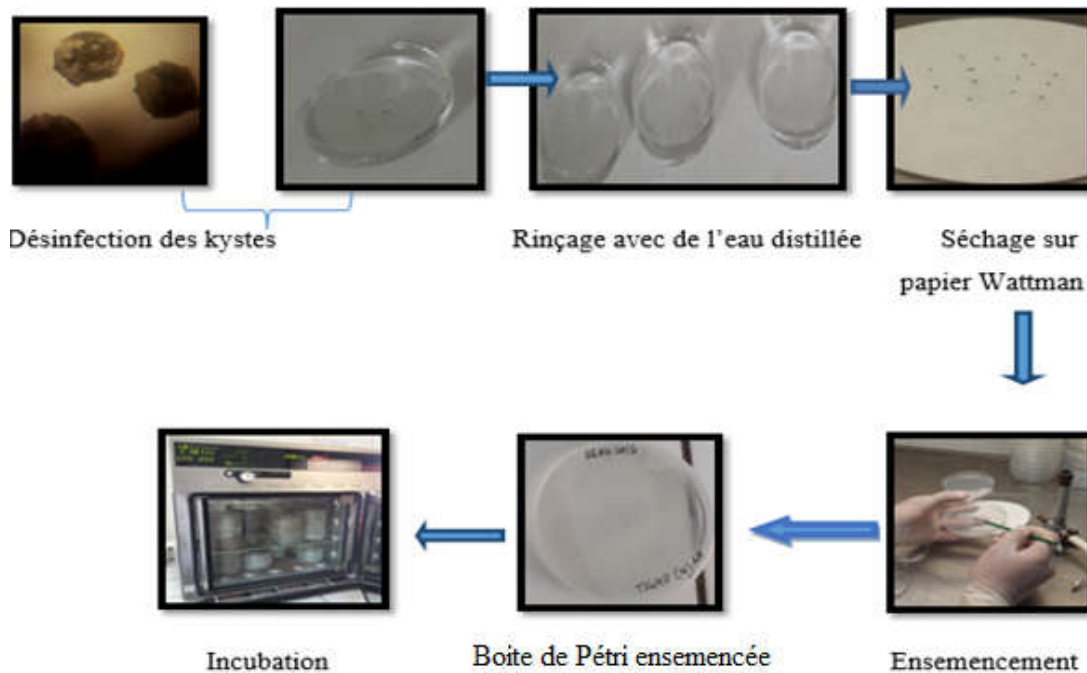


**Figure 18 :** Etapes de préparation de milieu de culture (Original, 2016).

### II-3- Ensemencement des kystes

Les kystes prélevés du sol de différentes parcelles sont désinfectés préalablement dans une solution d'eau Javel à 1% pendant 5 minutes et rincés trois fois successives avec de l'eau distillée stérile (le premier rinçage à 2 minutes, le deuxième à 3 minutes et le troisième à 5 minutes). Les kystes sont alors séchés pendant 10 minutes sur du papier Wattman stérile. Ils sont ensemencés dans des boîtes de Pétri contenant un milieu PDA, à raison d'un kyste par boîte de Pétri. Pour chaque parcelle étudiée nous avons réalisé 15 répétitions, soit 15 kystes.

Toutes les manipulations sont réalisées aseptiquement sous une hotte à flux laminaire afin d'éviter les contaminations externes. Ces boîtes de Pétri sont incubées dans un incubateur à une température de 25°C jusqu'à l'apparition des colonies.



**Figure 19 :** Etapes d'ensemencement des kystes d'*Heterodera* sp. (Original, 2016).

## II-4- Analyse statistique

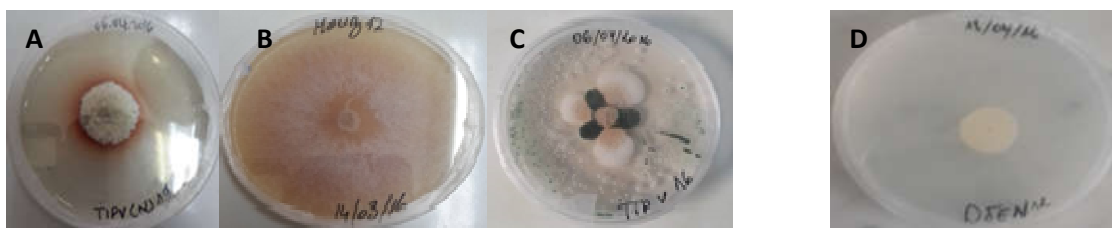
Pour étudier la corrélation entre les genres de champignon avec les communes étudiées, on a utilisé une analyse multifactorielle à partir d'un logiciel statistique (PAST vers.1.37, Hammer *et al.*, 2001 in Bellatreche, 2011).

## II-4- Résultats

### II-4 -1 Identification des colonies obtenues

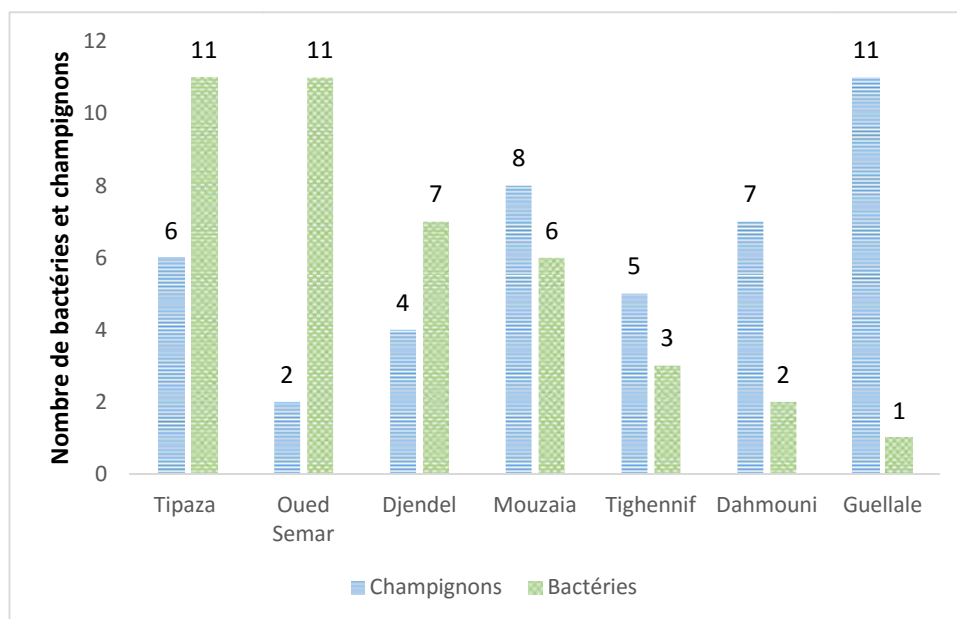
#### II-4-1-1- Observation macroscopique

Après incubation à 25 °C pendant cinq jours, les boîtes des différentes régions sont examinées à l'œil nu. On observe alors des colonies distinctes en couleur et en aspect.



**Figure 20 :** Aspect des colonies fongiques (A, B, C) et des colonies bactériennes (D) (Original, 2016).

Le tableau suivant montre le nombre des colonies obtenues (fongiques et bactériennes) au niveau des 7 parcelles étudiées.



**Figure 21:** Nombre de champignons et de bactéries extraits à partir des kystes d'*Heterodera* sp.

**II-4-1-1-1- Discussion**

Au niveau des parcelles situées dans les régions de Tipaza, Djendel et Oued Smar, les colonies bactériennes sont importantes par rapport aux colonies fongiques obtenues. Par contre, les parcelles situées au niveau de Dahmouni, Guellal et Mouzaïa, les colonies fongiques sont plus dominantes que les colonies bactériennes.

On remarque aussi un nombre inversement proportionnel entre les champignons et les bactéries, et ce, au niveau des populations d'*Heterodera* sp. de Oued Smar, Dahmouni, Tipaza et Guellal, c'est-à-dire plus le nombre de champignons est élevé, plus le nombre de bactéries est faible, et inversement.

Les résultats obtenus par Haddadi (2015) sont similaires à nos résultats. En effet, la fréquence des souches bactériennes isolées à partir des kystes de Oued Smar sont de l'ordre de 46%, par contre la flore fongique est moins abondante, elle ne représente que 20%.

**Chapitre III**

**Identification et  
dénombrement des  
champignons**

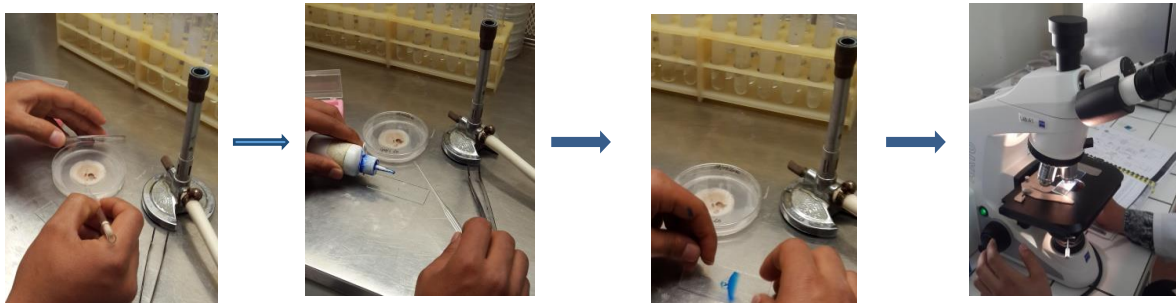
## Chapitre III : Identification et dénombrement des champignons

### III-1 Identification des champignons

#### III-1-1 Matériel et méthodes

Les colonies fongiques, obtenues à partir des kystes, sont repiquées aseptiquement et individuellement sur le milieu gélosé PDA. Des fragments mycéliens sont prélevés à la périphérie des colonies afin d'éviter tout mélange de colonies différentes. Les boîtes contenant les explants sont incubées à 25°C.

Les observations microscopiques (microscope Leica BM) sont faites sur des fragments de la colonie, colorés au bleu de méthylène et placés entre lame et lamelle (Fig. 22).

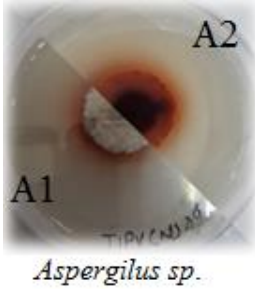
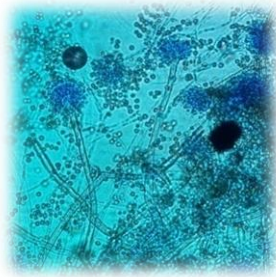
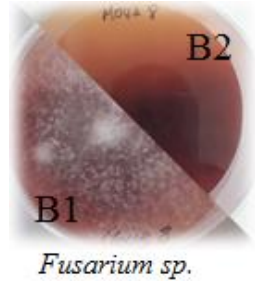
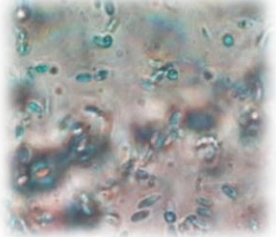
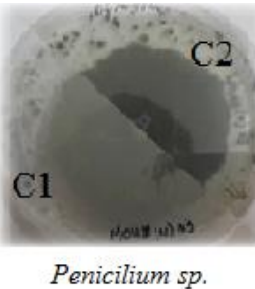



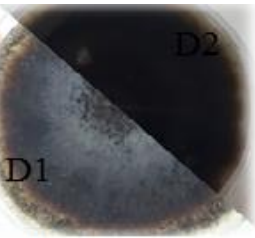
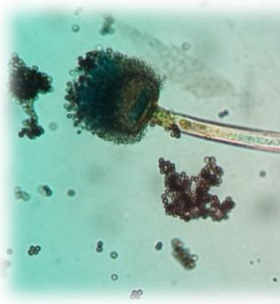
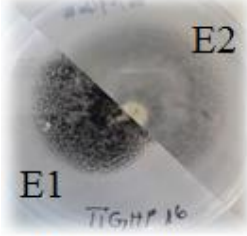
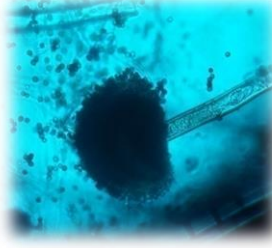
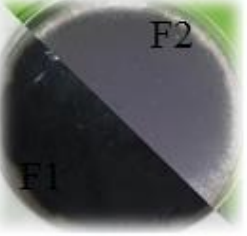
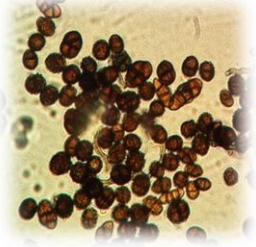
**Figure 22** : Etapes d'identification des champignons (Original, 2016).

#### III-1-2 Résultats

Les genres des différents champignons isolés sont identifiés selon la clé de Barnett et Hunter (1972), en se basant sur la morphologie et la coloration du mycélium, la forme et la couleur des conidies et la présence ou l'absence des appareils sporifères.



	Aspect macroscopique (Recto-verso)	Caractères	Aspect microscopique (Gr.10X100)	Caractères
A	 <p>A2 A1 <i>Aspergillus sp.</i></p>	<p><b>A1</b> : Duvet cotonneux blanc</p> <p><b>A2</b> : Rose à brun rouge foncé</p>		<p>Les conidiophores se terminent par un renflement portant des chaînettes de conidies unicellulaires et globoïdes</p>
B	 <p>B2 B1 <i>Fusarium sp.</i></p>	<p><b>B1</b> : Les colonies sont floconneuses, de couleur rouge à pourpre</p> <p><b>B2</b> : Le revers est rouge à pourpre</p>		<p>Présente des macroconidies pluricellulaires et légèrement arquées, et des microconidies unicellulaires, ovoïdes à oblongues</p>
C	 <p>C2 C1 <i>Penicillium sp.</i></p>	<p><b>C1</b> : Surface poudreuse, de couleur bleu-vert</p> <p><b>C2</b> : Revers jaune-verdâtre</p>		<p>Des conidiophores prolongés de phialides qui portent à leur apex de longues chaînettes de conidies unicellulaires, globoïdes à ovoïdes</p>

D	 <p><i>Rhizomicur sp.</i></p>	<p><b>D1 :</b> Les colonies légèrement cotonneuses</p> <p><b>D2 :</b> Surface brune à noire.</p>		<p>- Les hyphes non - cloisonnés ou peu cloisonnés</p> <p>- Les zygospores sont formées dans les hyphes aériens, ronds de couleur brun foncé à noir</p>
E	 <p><i>Rhizopus sp.</i></p>	<p><b>E1:</b> Duvet cotonneux gris à noirâtre</p> <p><b>E2 :</b> Surface de couleur gris-noirâtre</p>		<p>Des hyphes non septés, des conidiophores à croissance continue qui donnent naissance à des sporanges</p>
F	 <p><i>Ulocladium sp.</i></p>	<p><b>F1:</b> Duvet velouté à laineux, de couleur noir verdâtre</p> <p><b>F2 :</b> surface de couleur noir verdâtre</p>		<p>Conidiophore simple et ramifié, les conidies d'un aspect en zigzag de couleur brun au noir avec une paroi rugueuse cylindrique divisée en plusieurs cellules.</p>

**Tableau 05 :** Observations macroscopique et microscopique des différents genres de champignons isolés à partir des kystes d'*Heterodera sp.*

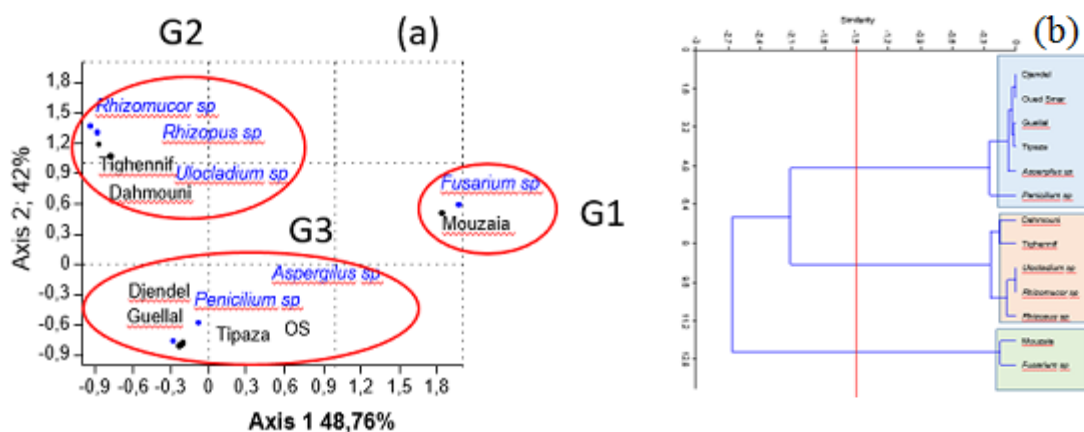
**Tableau 06 :** Colonies de champignons identifiées au niveau des sept parcelles étudiées

Champignon \ Commune	<i>Fusarium</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Ulocladium</i>	<i>Penicilium</i>	<i>Rhizomucor</i>	<i>Rhizopus</i>
Tipaza	0	4	0	2	0	0
Tighennif	0	0	0	1	0	4
Mouzaïa	7	0	0	1	0	0
Djendel	0	2	0	2	0	0
Dahmoni	0	1	1	0	1	4
Oued Smar	0	1	0	1	0	0
Guellal	0	7	0	4	0	0
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>8</b>

### III-1-3 Analyse statistique

L'axe 1 de la AFC (Analyse de Composants Factoriels) contribue pour 48,76% d'informations, alors que l'axe 2 totalise une contribution de 42 % (Fig. 23). L'AFC et la CAH (Classification Ascendant Hiérarchique) ont fait ressortir 3 groupes :

- Le groupe 1 : correspond à la présence du genre *Fusarium sp.* avec la commune de Mouzaïa.
- Le groupe 2 : correspond à la présence des genres *Rizomucor sp.*, *Rhizopus sp.* et *Ulocladium sp.* avec les communes de Tighennif et Dahmouni.
- Le groupe 3 : correspond à la présence des genres *Aspergillus sp.* et *Penicilium sp.* avec les communes de Djendel, Guellal, Tipaza et Oued Smar.



**Figure 23:** Projection des champignons avec les communes étudiées sur le plan de coordination 1 et 2 de l'AFC (a) et classification ascendant hiérarchique (CAH) (b).

### III-1-4 Discussion

Six champignons appartenant à des genres différents ont été isolés à partir des kystes d'*Heterodera sp.* provenant des sept communes céréalières.

Ces champignons ont été classés en deux groupes : les parasites primaires d'*Heterodera sp.* et les opportunistes (parasites secondaires) (Dackman et Nordbring-Hertz, 1985; Ownley Gintis et al., 1983).

Les champignons opportunistes sont représentés par les Zygomycètes tels que les *Rhizopus sp.* et les *Rhizomucor sp.*, et plusieurs Deutéromycètes tels que *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.* et *Ulocladium sp.*

Les champignons isolés dans notre étude se trouvent partout dans le monde en association avec plusieurs nématodes à kystes (*Heteroderidae*), ce qui suggère que cette microflore leur est spécifique (Willcox et Tribe, 1974; Kerry et Crump, 1977; Kerry, 1980; Nigh *et al.*, 1980; Ownley Gintis *et al.*, 1983; Crump et Kerry, 1987; Crump, 1991; Crump et Flynn, 1995; Chen *et al.*, 1996). Selon Kerry *et al.* (1982 b), les opportunistes (parasites secondaires) comme *Penicillium sp.* n'infectent qu'un nombre faible d'œufs et ne colonisent que les femelles mortes.

Par ailleurs, il est à noter que certains de ces champignons comme *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.* sont souvent isolés en association avec les céréales.

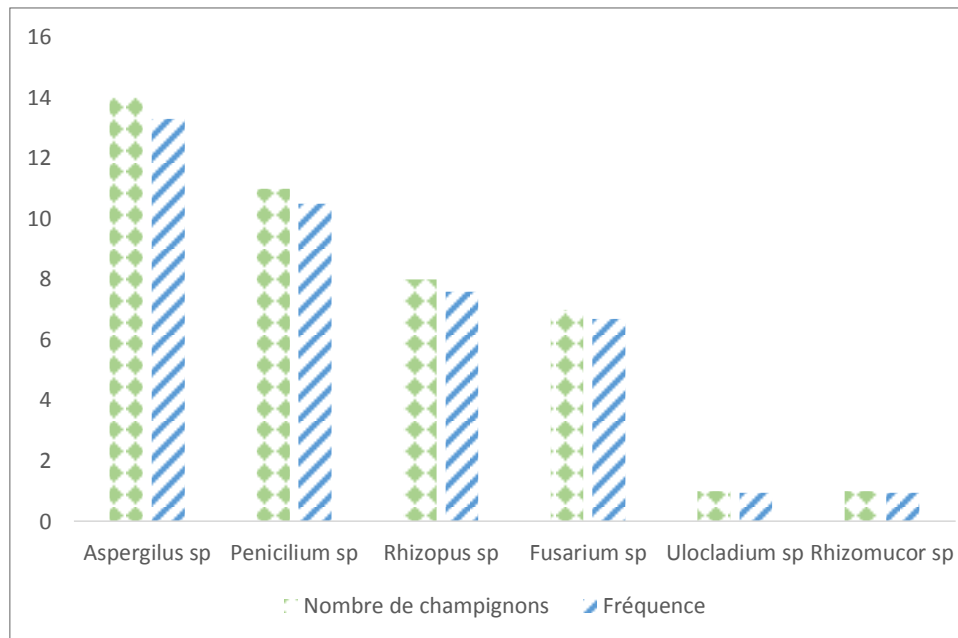
## III-2 Dénombrement des colonies fongiques isolées à partir des kystes

### III-2-1 Matériels et méthodes

Après l'isolement de la microflore fongique à partir des kystes, ces champignons ont été dénombrés pour toutes les populations d'*Heterodera sp.* prélevées au niveau des sept communes étudiées. Le dénombrement est réalisé sur le nombre de colonies apparues dans l'ensemble des boîtes de Pétri.

### III-2-2 Résultats

La figure 24 montre une présence du genre *Aspergillus* et *Penicillium* plus importante. La fréquence de genres *Rhizomucor* et *Ulocladium* est très faible.



**Figure 24:** Importance des colonies fongiques isolées à partir des kystes d'*Heterodera* sp.

### III-2-3 Discussion

Nous avons remarqué que la fréquence de présence de *Penicilium sp.* et d'*Aspergillus sp.* est plus élevée par rapport aux autres champignons. Ces deux champignons sont souvent isolés à partir du sol de toutes les cultures. Par contre, *Fusarium sp.* est inféodé à la céréale pour laquelle il cause des dommages à différentes parties de la plante.

Le genre *Rhizopus sp.* a été identifié à partir des Kystes de Oued Smar selon (Haddadi., 2015). Il a été également signalé en Tunisie où il est associé aux kystes d'*Heterodera avenae* (Mensi et al., 2011).

Aussi, Ashrafi et al. (2014) rapportent que le genre *Fusarium sp.* isolé pour la première fois sur les kystes d'*Heterodera filipjevi* est aussi un endophyte et que cette association devrait être exploitée dans la lutte biologique contre les nématodes à kyste des céréales.

# **Chapitre IV**

## **Identification des bactéries**

## Chapitre IV : Identification des bactéries

### Introduction

Comme les champignons, des colonies bactériennes ont été isolées à partir des kystes des populations de wilayas de Tiaret (Dahmouni), Mascara (Tighennif), Aïn Defla (Djendel), Blida (Mouzaïa), Tipaza (Tipaza), Alger (Oued Smar) et Sétif (Guellal) ensemencées et purifiées et sur le milieu LPGA (Levure Peptone Glucose Agar).

### IV-1 Purification des colonies bactériennes

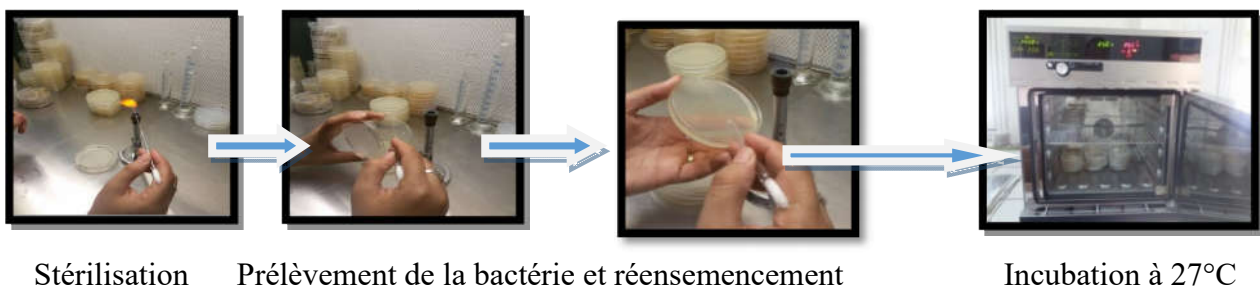
Les colonies bactériennes sont purifiées et enrichies par réensemencement sur le milieu LPGA, selon la méthode en stries à l'aide de pipette Pasteur. Ensuite, elles ont été incubées à une température de 27 °C pendant 24 à 48h.

La préparation a été réalisée au laboratoire de Bactériologie de l'INPV, selon le protocole établi par l'OEPP (Organisation Euro-méditerranéenne de la Protection des Plantes) en 2013.

Un milieu LPGA (Levure Peptone Glucose Agar) est utilisé. Il est composé de :

- Extrait de levure 5 g
- Peptone 5 g
- Glucose 10 g
- Eau distillée 1000 ml

Stériliser 20 minutes à 120°C.



Stérilisation

Prélèvement de la bactérie et réensemencement

Incubation à 27°C

**Figure 25** : Etapes de purification et réensemencement des bactéries (Original, 2016) sur milieu LPGA.

Après incubation à 27°C pendant 48 h, les boîtes de Pétri des différentes communes sont examinées à l'œil nu. On observe alors des colonies bactériennes distinctes en couleurs et en aspect.



**Figure 26** : Aspect macroscopique des différents isolats sur milieu LPGA (Original, 2016).

## IV-2 Identification des bactéries

### IV-2-1 Test d'hypersensibilité sur plants de tabac

L'hypersensibilité (ou HR) est un phénomène de résistance locale aboutissant au confinement rapide de l'agent pathogène (en quelques heures) par déclenchement de nécroses cellulaires sur le site de l'infection (Shaad et *al.*, 2001). La mort cellulaire qui peut être plus ou moins étendue circonscrit le parasite et limite donc sa propagation dans la plante.

Le test d'hypersensibilité du tabac sert à mettre en évidence le pouvoir pathogène d'une bactérie par le dessèchement des zones d'inoculation sur les feuilles de tabac.

#### IV-2-1-1 Matériels et méthodes

Le matériel utilisé pour le test d'hypersensibilité est le suivant :

- Plant de tabac (*Nicotiana tabacum*)
- Cônes d'Ependorf
- Seringue
- Eau distillée stérile
- Agitateur orbital
- Pipette Pasteur



**Figure 27**: Matériel pour le test d'hypersensibilité (Original, 2016).



Une suspension bactérienne (colonie d'une culture jeune de 24 à 48 h) est mise en suspension dans un tube Ependorff contenant de l'eau distillée stérile. À l'aide d'une seringue tuberculine de 1 ml injecter la suspension bactérienne dans l'espace intercellulaire le long de la nervure centrale ou d'une nervure secondaire. L'inoculation de la suspension bactérienne se fait sur la face inférieure de la feuille, entre l'épiderme et le parenchyme palissadique d'une jeune feuille de tabac (Rvoal c., Paillard s et Poliakoff f., 2007a).

Le test est considéré positif s'il apparait au bout de 72 heures une plage nécrotique correspondant à la zone infiltrée. Le test est négatif si aucune réaction n'est observée. Comme témoin négatif, nous avons utilisé de l'eau distillée stérile.



A : Etapes de la préparation de la suspension bactérienne



B : Inoculation de la suspension bactérienne sur plant de tabac

**Figure 28. :** Etapes du test d'hypersensibilité (Original, 2016).

### IV-2-1-2 Résultats

Après 72 heures, on observe quelques plants de tabac où la zone foliaire inoculée avec la bactérie devient légèrement translucide. Par la suite, les tissus s'assèchent et prennent une coloration brune-claire. La réaction négative par contre ne se traduit par aucune réaction.



**Figure 29:** Réaction d'hypersensibilité des plants de tabac vis-à-vis des isolats bactériens  
(A) : Réaction négative (B) : Réaction positive (Original, 2016).

Les colonies bactériennes qui ont montré une réaction positive et négative sur plants de tabac sont prélevées au niveau des parcelles céréalières des sept communes. Le tableau 07. montre l'origine des colonies bactériennes.

**Tableau 07** : Résultats du test d'hypersensibilité

Commune	Tipaza	Oued Smar	Djendel	Mouzaia	Tighennif	Guellal	Dahmouni
<b>Réaction d'hyper-sensibilité</b>	Tip01(-)	<b>Os01(+)</b>	<b>Dj04(+)</b>	Mz03(-)	Tig04(-)	Gu28(-)	Da05(-)
	Tip02(-)	Os02(-)	Dj05(-)	Mz04(-)	<b>Tig11(+)</b>		Da13(-)
	Tip06(-)	<b>Os03(+)</b>	Dj06(-)	Mz05(-)	Tig22(-)		
	<b>Tip08(+)</b>	Os04(-)	<b>Dj07(+)</b>	Mz07(-)			
	Tip09(-)	Os05(-)	Dj08(-)	Mz 11(-)			
	Tip10(-)	Os06(-)	Dj10(-)	Mz15(-)			
	Tip11(-)	Os07(-)	Dj12(-)				
	Tip13(-)	Os08(-)					
	Tip14(-)	<b>Os11(+)</b>					
	<b>Tip15(+)</b>	Os20(-)					
	Tip18(-)	Os17(-)					

**Légende : Tipaza (Tip), Oued Smar (OS), Djendel (Dj), Tighennif (Tig), Dahmouni (Da), Guellal (Gu), Mouzaia (Mz). Le numéro après le nom de la commune indique la répétition technique.**

Parmi les 41 suspensions bactériennes inoculées sur les plants de tabac, huit inoculats, à savoir **Tip08, Tip 15, OS03, OS01, OS11, Dj04, Dj07, Tig11**, ont présenté une réaction positive caractérisée par la formation de taches nécrotiques sur les feuilles de tabac (Fig. 29).

D'autres tests biochimiques ont été effectués pour identifier les huit colonies bactériennes qui ont montré une hypersensibilité vis à vis des plants de tabac.

## IV-2-2 Test de potasse indicatrice de GRAM

### IV-2-2-1 Matériel et Méthodes

La technique du test de KOH 3% ( Suslow et *al.*, 1982) est basé sur la solubilité de la paroi des bactéries dans la potasse qui contribue à la libération de l'ADN. Il s'agit d'un test rapide et peu coûteux ayant une bonne corrélation avec la technique de coloration de Gram (Rvoal, Paillard et Poliakoff, 2008b). Ce test est également nommé « Gram à la potasse » ou encore « test KOH ».

Introduire une colonie bactérienne jeune (24 heures) dans une goutte de la solution aqueuse de KOH à 3% sur une lame à l'aide d'une anse stérile, sous hotte stérile.

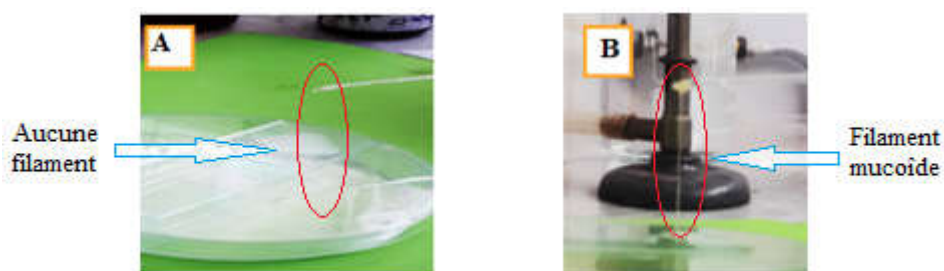
Lecture immédiate :

\*Formation d'un filament élastique en soulevant l'anse : **bactérie Gram –**

\*Absence de formation de filament, la culture se détache bien la goutte : **bactérie Gram +**

### IV-2-2-2 Résultats

Les résultats de ce test montrent que les isolats Tip08 et OS03 appartiennent aux Gram positifs, alors que les six autres sont des Gram négatifs. Les bactéries prennent une forme de filament mucoïde sur une lame comme le confirment les observations faites par Suslow et *al.*, (1982). Ce dernier confirme que les bactéries à Gram négatif provoquent une augmentation de la viscosité du KOH et forment un filament mucoïde lorsqu'il est relevé à partir de la lame. Ce procédé utilise la destruction rapide de la paroi cellulaire des bactéries à Gram négatif dans une solution alcaline, libérant l'acide désoxyribonucléique, ce qui provoque la viscosité de la solution (Suslow et *al.*, 1982) ( Fig. 30).



**Figure 30** : Test de Gram au KOH

(A) : Réaction négative Gram positif (B) : Réaction positive Gram négatif (Original, 2016).

### IV-2-3 Test Oxydase

#### IV-2-3-1 Matériel et Méthodes

La cytochrome C oxydase est une enzyme que possède certaines bactéries aérobies (Rvoal, Paillard et Poliakoff, 2007b). Ce test a révélé sa présence de l'enzyme grâce au N, N Diméthyle Paraphénylène Diamine ou le N, N Diméthyl Paraphénylène Diamine Dihydrochloride. Ces deux réactifs, ayant le même potentiel d'oxydoréduction que le cytochrome c oxydase, sont capables d'oxyder le réactif qui devient alors coloré : violet pourpre ou bleu pourpre.

La méthode est la suivante :

Sur un papier filtre stérile, déposer un disque d'oxydase imprégné de diméthyl-paraphénylène diamine.

- Humidifier le disque avec quelques gouttes d'eau distillée stérile. Un excès d'eau peut nuire à la lecture.

- À l'aide d'une anse en verre prendre la bactérie à identifier (culture de 18-24 heures) et la déposer sur le disque.

-Emulsionner la culture sur papier filtre stérile pré-imprégné du réactif N, N Diméthyl Paraphénylène Diamine Dihydrochloride.

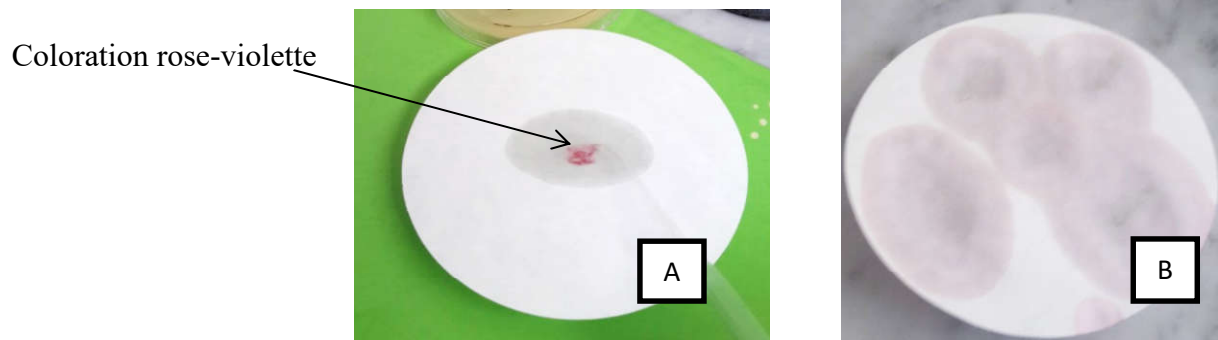
- Procéder à une lecture immédiate (10 à 30 secondes) :

\* Coloration rose-violette : bactérie oxydase +

\*Absence de coloration : bactérie oxydase –

### IV-2-3-2 Résultats

Les résultats du test oxydase montrent que l'isolat Djen 07 forme une coloration rose-violette (oxydase positive) par rapport aux autres isolats, où aucune coloration n'est apparue. Ce sont des oxydases négatives (selon le principe du test).



**Figure 31:** A : Réaction positive (+) B : Réaction négative (-) (Original, 2016).

### IV-2-4 Test Hugh et Leifson

#### IV-2-4-1 Matériel et Méthodes

Ce test permet de vérifier la voie d'utilisation du glucose. Elle peut être oxydative (en aérobiose), fermentative (en anaérobiose), inerte ou inactive (pas de réaction). Dans un milieu contenant du bleu de bromothymol (indicateur de pH dont la zone de changement de couleur se situe entre le pH 6,0 et 7,0), est ajouté du D (+) glucose comme source de carbone et d'énergie.

Si la souche bactérienne utilise le sucre, elle produit des acides qui font virer l'indicateur coloré du bleu-vert au jaune.

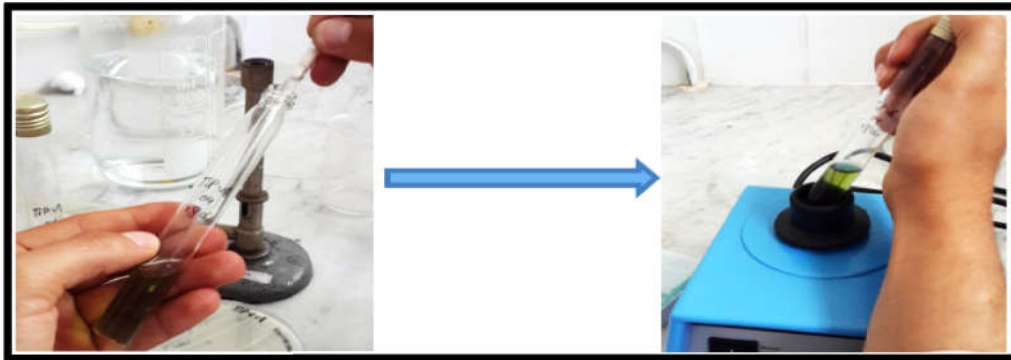
Pour effectuer ce test, nous utiliserons le milieu semi-gélosé Hugh et Leifson dans des tubes à essai (Rvoalet al., 2008a).

- Prélever une colonie jeune (âgée de 24 à 72 heures) sur milieu solide.



**Figure 32** : Prélèvement de la crème bactérienne (Original, 2016).

- Ensemencer la colonie bactérienne dans deux tubes gélosés à l'aide d'un fil de platine et agiter à l'aide d'un agitateur.



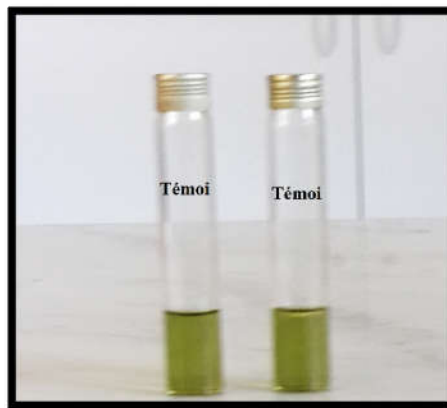
**Figure 33** : Dépôt et agitation de la crème bactérienne dans les tubes Hugh et Leifson (Original, 2016).

- Mettre en anaérobiose un des deux tubes en ajoutant environ 2 gouttes d'huile de vaseline stérile.



**Figure 34** : Ajout de huile de vaseline dans tube Hugh et Leifson (Original, 2016).

- Prévoir un tube témoin sans ensemencement.



**Figure 35:** Deux tubes témoin (original, 2016).

Lorsque les deux cultures virent au jaune, la bactérie est dite « fermentative ». Si, par contre, la coloration jaunâtre se produit uniquement dans les cultures soumises aux conditions d'aérobiose, la bactérie est dite oxydative (Hugh et Leifson, 1953).

#### IV-2-4-2 Résultats

Les résultats du test de mise en évidence du métabolisme oxydatif et fermentatif montrent que tous les tubes testés, des différents isolats, soumis aux conditions d'aérobiose et d'anaérobiose virent vers le jaune. Ceci prouve que les tests sont tous positifs (Hugh et Leifson, 1953) et que nos bactéries sont toutes fermentatives (Fig. 36).



**Figure 36:** Test Hugh et Leifson, (A) Test négatif dans les deux tubes (témoin), (B) test positive pour les deux Tubes : anaérobique ; et aérobique. (Original, 2016).



### IV-2-5 Confirmation des colonies bactériennes obtenues

Les résultats des tests biochimiques nous révèlent deux possibilités ; soit que nous sommes en présence du genre *Erwinia*, soit du genre *Pantoea*.

Afin de distinguer entre ces deux genres de bactéries nous avons procédé à un repiquage des colonies sur milieu de culture YDC, selon la méthode préconisée par Shaad (2001).

Sur milieu YDC la bactérie *Erwinia sp.* Montre une couleur crème, par contre la bactérie *Pantoea sp.* est de couleur jaune.

Toutes les boites de colonies bactériennes obtenues au niveau de quatre communes, à savoir Tip08, Tip15, Os03, Os01, Os11, DJ04, Dj07, Tig11 sont repiquées sur milieu YDC.

#### IV-2-5-1 Matériel et Méthodes

Préparation de milieu Yest Dextrose Calcium Carbonate Agar (YDC)

D'après (Bulletin OEPP, 2013)

1-Yest extract	10g
2-Calcium Carbonate (CaCO <sub>3</sub> )	20g
3- Dextrose (L-glucose)	20g
4-Agar	15g

Stériliser à 120° pendant 20 minutes dans un autoclave



**Figure 37** : Matériel de préparation du milieu de culture YDC (Original, 2016).

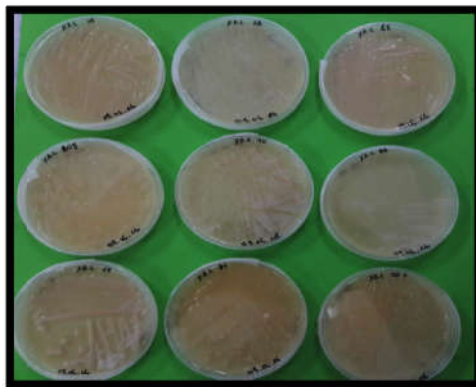


Prélèvement de petite colonie    Ensemencement    Les boîtes destinées  
vers l'incubation

**Figure 38** : Etapes d'ensemencement des bactéries sur milieu YDC (Original, 2016).

#### IV-2-5-1 Résultats

Après incubation à 25°C pendant 72 heures, nous avons noté une absence de pigmentation jaune, donc les colonies testées sont du genre *Erwinia* sp.



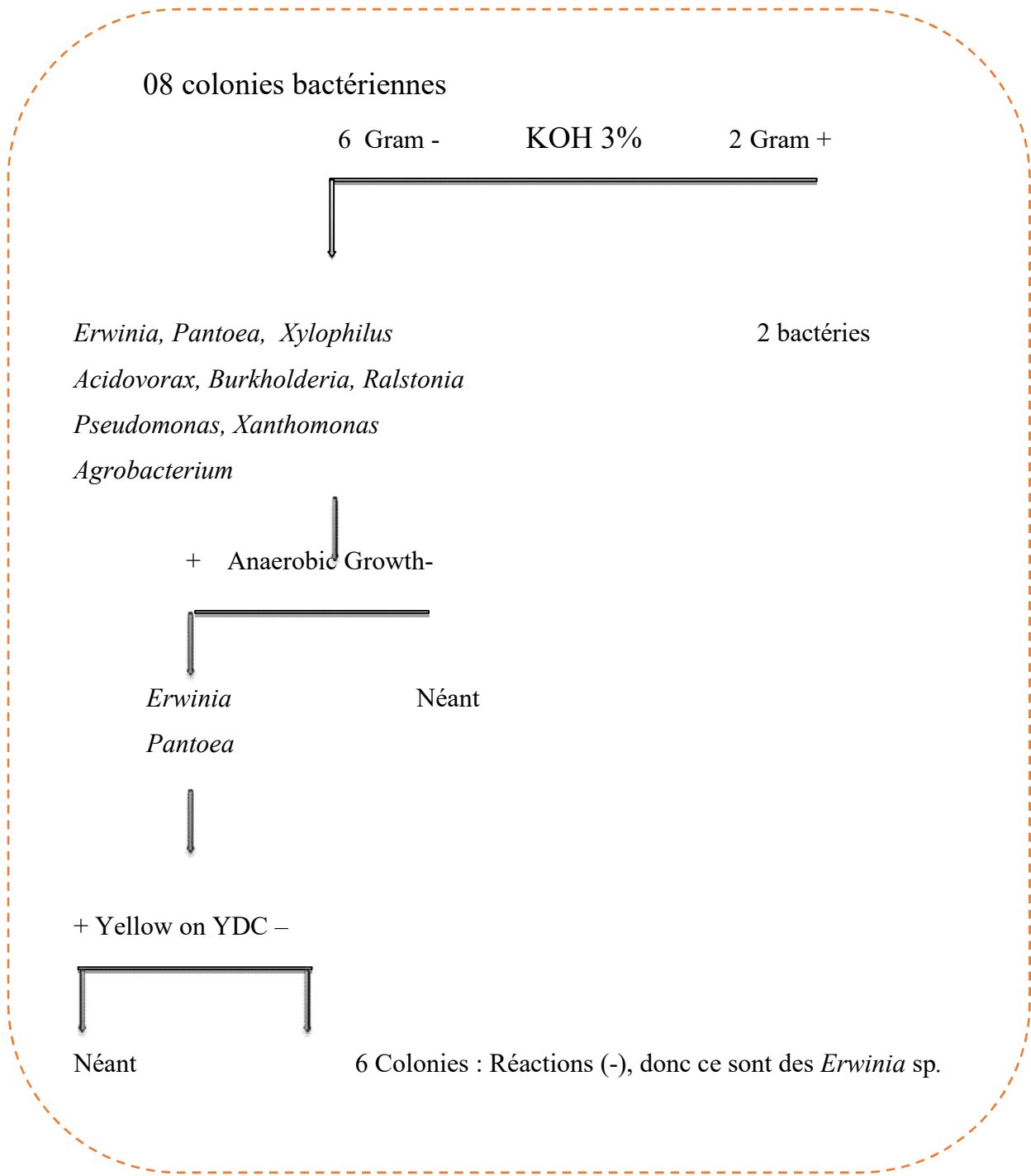
**Figure 39**: Aspect macroscopique des différents isolats bactériens sur milieu YDC (Original, 2016).

**Tableau 08 : récapitulatif des tests d'orientation**

Test Bactéries	KOH 3% (test de Gram)	Oxydase	Hugh & Leifson	YDC	Résultats
TIP 15	-	-	+	-	<i>Erwinia</i> sp.
DJEN 04	-	-	+	-	
DJEN07	-	+	+	-	
TIGH 11	-	-	+	-	
OS 01	-	-	+	-	
OS11	-	-	+	-	
TIP 08	+				
OS 03	+				

Tous les tests d'orientation et de différenciation utilisés pour trancher entre *Erwinia* sp. et *Pantoea* sp. nous ont permis d'établir le diagramme suivant, et ce, en conformité avec les travaux de Shaad et *al.*, 2001.

**Diagramme du test d'orientation**



# **Chapitre V**

**Confrontation *in vitro* entre  
les champignons antagonistes  
et *Heterodera* sp.**

## Chapitre V : Confrontation *in vitro* entre les champignons antagonistes et *Heterodera* sp.

### Introduction

Dans les travaux consacrés à l'étude de microorganismes antagonistes aux agents phytopathogènes d'origine tellurique, les auteurs passent d'abord par une étape préliminaire qui est une étude *in vitro* des potentialités antagonistes de ces microorganismes.

Parmi les six champignons appartenant à des genres différents qui ont été isolés à partir des kystes d'*Heterodera* sp. provenant des sept communes céréalières, deux seulement sont sélectionnés pour faire l'objet d'une confrontation vis-à-vis des œufs d'*Heterodera* sp. de deux populations (Mouzaia et Dahmouni). Il s'agit de *Fusarium* sp. et *Ulocladium* sp.

Nous allons donc essayer de suivre la même voie; ainsi dans une première étape nous avons tenté de tester les potentialités antagonistes de *Fusarium* sp et *Ulocladium* sp.

### V-1 Matériel

- Matériel biologique (Oeufs de deux populations et deux champignons (*Fusarium* sp. et *Ulocladium* sp.))
- Bec benzène.
- Agitateur.
- Ependorff.
- Pinceau.
- Cellule de Malassez.
- Lames creuses.
- Lamelles.
- Micropipettes.
- Pipette Pasteur.



**Figure 40** : Matériel utilisé pour le test confrontation (Original, 2016).

## V-2 Méthodes

A partir d'une culture relativement jeune, on prélève la couche superficielle (duvet) du champignon pour la placer dans un flacon contenant 10 ml d'eau distillée stérile (Haddadi, 2015).



**Figure 41:** Préparation de la suspension sporale (Original, 2016).

A partir de cette suspension mère, une série de dilutions est réalisée de manière à obtenir une suspension finale d'une concentration comprise entre  $10^6$ ,  $10^4$ ,  $10^2$  spores/ml (Fig. 42) ajustée grâce à une cellule de Malassez.

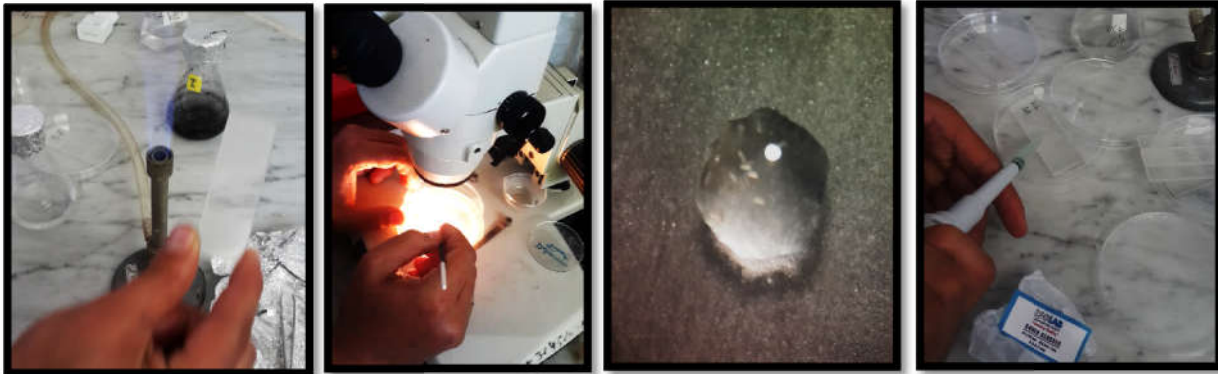


**Figure 42 :** Différentes concentrations de la suspension sporale des deux champignons.  
(Original,2016).

### V-2-1 Tests de confrontation sur lame creuse

Ce test repose sur la confrontation, sur une lame creuse, des spores du champignon avec les œufs des populations d'*Heterodera* sp., en l'occurrence Mouzaia et Dahmouni, Pour chaque dose utilisée ( $10^2$ ,  $10^4$ ,  $10^6$ ), 1 ml de la suspension sporale a été prélevée à l'aide d'une micropipette

et déposée sur la lame creuse sur laquelle 10 œufs d'*Heterodera* sp. ont été déposés. Les lames sont incubées à l'obscurité (25°C) pour une période de six jours.



**Figure 43:** Etapes de la préparation de confrontation entre la suspension sporale et les œufs.(Original,2016).

Un nombre de trois répétitions a été retenu pour chaque dose de champignons et pour chaque population de nématode. Les observations sont effectuées après 6 jours.



**Figure 44 :** Observation sous loupe binoculaire des œufs et des spores de champignon (Gr 40X10) (Original, 2016).

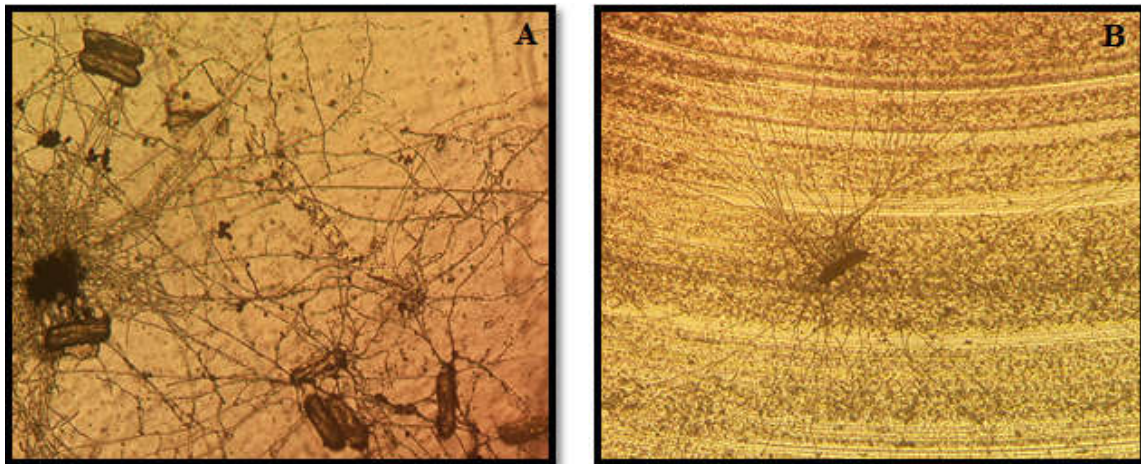


**Figure 45:** Observation sous microscope des œufs et des spores de champignon. (Gr 40X10)(Original, 2016).



### V-3 Résultats

Après six jours d'incubation à 25°C et à l'obscurité, nous avons observé un développement mycélien tout autour des œufs des deux populations d'*Heterodera* sp. (Mouzaia et Dahmouni). Les œufs qui étaient hyalins ou transparents se sont noircis, et ce, suite à l'enroulement mycélien qui a joué un rôle de piègeage, en comparaison avec les témoins qui sont restés transparents.



**Figure 46:** Développement du mycélium autour des œufs (Gr10X40)

A : *Ulocladium* sp. ; B : *Fusarium* sp. (Original, 2016).



**Figure 47:** Témoin avec les œufs et sans champignon (Gr 10X100) (Original, 2016).

# Conclusion générale

## CONCLUSION GENERALE

L'étude de l'état d'infestation des parcelles des différentes communes par le nématode à kystes des céréales *Heterodera sp.* montre qu'elles sont toutes infestées par ce parasite.

Cependant, les densités d'infestation sont très hétérogènes et varient considérablement d'une commune à une autre.

Les résultats de l'analyse nématologique révèlent que la densité moyenne d'infestation est de 2,3 kystes/100 g de sol à Djendel (Aïn Defla), par contre, elle est de 8,8 kystes/100 g de sol à Dahmouni (Tiaret).

Dans toute approche concernant l'évaluation des niveaux d'infestation des parcelles céréalières, la densité (nombre de kystes/100 g de sol), à elle seule ne suffit pas pour mettre en évidence l'état réel de l'infestation du sol, par contre, le degré d'infestation exprimé en larves infestantes (L2/g de sol) permet d'obtenir une évaluation qualitative des attaques d'*Heterodera sp.*

La pratique de la monoculture, en l'occurrence les céréales, a favorisé le développement de ce nématode, particulièrement dans les wilayas des Hauts Plateaux à potentiel céréalier, comme Dahmouni (Tiaret) et Guellal (Sétif), où leurs degrés d'infestation respectifs sont de l'ordre de 29,9 et 27,2 L2/g de sol.

Dans un premier temps, un système de rotation basé essentiellement sur les cultures non hôtes et éventuellement la jachère s'impose afin de diminuer les degrés d'infestation à un seuil tolérable.

Par ailleurs, il serait intéressant de poursuivre les investigations dans les wilayas céréalières pour une meilleure connaissance de la distribution géographique de ce nématode.

La recherche des champignons et des bactéries antagonistes d'*Heterodera sp.* a permis l'isolement de six genres de champignons à partir des kystes des différentes populations d'*Heterodera sp.* étudiées. Ils ont été identifiés sur la base de leurs caractéristiques morpho-culturelles. Il s'agit de *Fusarium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhizopus sp.*, *Rhizomucor sp.* *Ulocladium sp.*. Ce dernier est identifié pour la première fois en Algérie.

S'agissant des bactéries, nous avons identifié une seule bactérie, en l'occurrence le genre *Erwinia* sp., grâce aux tests biochimiques. Elle a été mise en évidence dans les communes de Tipaza, Djendel et Tighennif, où la rotation est basée essentiellement sur la pomme de terre/céréales.

Outre les moyens de lutte classiques représentés par les façons culturales (rotation, labour profond,...), la lutte biologique joue un rôle prépondérant dans le maintien ou la diminution des degrés d'infestation des parcelles de céréales par les populations d'*Heterodera* sp.

C'est dans ce cadre que nous avons opté pour un test de confrontation directe entre les œufs de deux populations d'*Heterodera* sp. et deux champignons *Fusarium* sp. et *Ulocladium* sp. à 25°C qui a montré un effet positif sur les œufs d'*Heterodera* sp.

Les microorganismes isolés doivent tous faire l'objet d'une étude plus approfondie incluant des confrontations avec les larves L2 et les œufs. Il faudra aussi mener des essais in vivo.

Ces microorganismes peuvent avoir deux intérêts pratiques :

-Dans le cas de la lutte directe contre le nématode à kyste, en cas d'apparition de nouveaux foyers, après la lutte chimique par les nématicides, afin de prévenir une nouvelle recolonisation des sols fumigués. L'amendement de ces sols par les microorganismes antagonistes constitue le moyen le plus efficace pour limiter le développement des populations ou même pour contribuer à leur éradication.

-Avant l'installation des cultures de céréales, par mesure prophylactiques.

Enfin, afin de valoriser ces résultats de recherche, une plus grande collaboration entre les institutions de recherche et les structures de vulgarisation agricole s'impose pour faire le meilleur usage de ces résultats dans le cadre d'un programme global de lutte permettant de modérer les problèmes liés à ces bio-agresseurs.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

---

**AHREN D. and TUNLID A., 2003**– Evolution of Parasitisme in Nematode-Trapping Fungi. The Journal of Nematology, 35(2) : 194-197.

**ALAM M. S., NESA M. N., KHAN S. K., HOSSAIN M. B. and HOQUE A., 2007**- Varietal differences on yield and contributing characters of wheat under different levels of nitrogen and planting methods. Journal of Applied Sciences Research, 3(11):1388-1392, 2007.

**Anonyme., 2013**- Protocole de préparation du milieu LPGA. Bulltein OEPP.43,pp.46-67.

**ARVALIS., 2006**- Diagnostic des accidents du blé dur, Institut du végétal, p : 26.

**ASHRAFI S., DABABAT A., MARIA FINCKH M. and MAIER W., 2014**- Identification and efficacy of naturally occurring fungi associated with cereal cyst nematode *Heterodera filipjevi* and wheat. Nachwuchswissenschaftlerforum / young Scientists Meeting, Berichtausdem Julius Kuhn- Institut : 24.

**AZZIZI F., 1993**- Contribution à l'étude de la distribution géographique d'*heteroderaa avenae* dans la Mitidja. Essai de comportement de quelques variétés de céréales vis-à-vis de cette espèce. TH. Ing. Agro., Inst. Nat. Agro., El-Harrach, Alger, 70 p.

**BACHELIER G., 1978**- La faune des sols, son écologie et son action. O.S.T.R.O.M, N° 38, Paris, 335p.

**BANYER R. J., et FISCHER J. M., 1971**- Effect of temperature on hatching of eggs of *heterodera avenae*. Nematologica 17: 519-534.

**BARNETT H.L. and HUNTER B.B., 1972**- Illustrated genera of imperfect fungi. Ed. Third Edition, 240p.

**BELAID A., 2000**- Durum wheat in WANA: Production, trade, and gains from technological change. In: Eds. Royo C., Nachit M. M., Di Fonzo N., Araus J.L.. Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. L'amélioration dublé dur dans la région méditerranéenne : Nouveaux défis. Option Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 40, pp : 35-49.

**BELLATRECHE M., 2011**- Bioécologie de *tuta absoluta* ( *lepidoptera, Gelechiidae*) sur différents variétés de tomate en serre et essai de lutte a l'aide de quelques extraits de plantes.Université Saad Dahleb -Blida.

## Références bibliographiques

---

- BOVEY R., 1979-** La décence des plantes cultivent, la maison rustique, Paris, 863p.
- CASAS-FLORES S. and HERRERA.ESTRELLA A., 2007-** Antagonism of plant parasitic nematodes by Fungi. In: The Mycota. Eds. Kubicek C.P. Druzhinima I.S. Springer Berlin, Netherlands: 147-157.
- CAUBEL G. et RIVOAI R., 1972-** Observations sur les attaques de deux nématodes nuisibles au maïs, en 1971. Phytoma, déf. Des cultures, (239) : 82-92.
- CAUBEL G. et RIVOAI R., 1977-** Evolution de l'action des pesticides sur divers nématodes en culture de maïs. Rev. Scien. Agro., N°180, Renne, pp. 33-49.
- CAUBEL G., PERSSON F. et RIVOAL R., 1980-** Les nématodes dans les rotations céréalières. Persp. agric ., (36) : 31-48.
- CAUBEL G., PERSSON F., et RIVOAL R., 1980-** Les nématodes dans les rotations céréalières ; perspectives agricoles N° 36, pp : 33-48.
- CAYROL J. C., 1975-** Comment se maintenaient les nématodes dans le sol. Rev. P.H.M., N°155, pp. 31-35.
- CAYROL J.C., DJIAN-CAPORALINO C. et PANCHAUD-MATTEI E., 1992-** la lutte biologique contre les Nématodes phytoparasites. Courrier de la Cellule Environnement de l'INRA, Paris, 17 : 31-44.
- CHEN F. and CHEN S., 2002-** Mycofloras in cycts females and eggs of the soybean cyst nematode in Minnesota. Applied Soil Ecology. 19 : 35-50 .
- CHOPPIN D.E., JANVRY E., 1971-** Les nématodes des céréales. In : les nématodes des cultures. Ed. A. C. T. A., Paris, pp. 273-291.
- CIANCIO A., LEONETTI P. et ALBA G., 2002-** Indaginisull'applicazione in pieno camp dell'ifomicete *Verticilium chlamydosporium* per il controllo biologico di nematodigalligeni. Nematol. Medit, 30 : 79-88.
- CIEMENT-GRANDCOURT M. et PRATS J., 1970-** Les céréales. Baillièrre, Paris- France, 351p
- CLEMENT, M., GRANCOURT J., et PRATS., 1971-** Les céréales, Ed, J-B Baillière, Paris, pp : 14-42 congeres, 157 p.
- COOK J., JOHNSON V. A. et ALLEN R. E., 1993-** Le blé. Méthodes traditionnelles de sélection des planetes : un apercu historique dessiné a servir de référence pour l'évaluation du

## Références bibliographiques

---

rôle de la biotechnologie moderne. Ed. Organisation de Coopération et de Développement Economique, France, 67p.

**DACKMAN C. and NORDBRING-HERTZ B., 1985-** Fungal parasites of the Cereal Cyst Nematode *Heterodera avenae* in southern Sweden. *Journal of Nematology*, 17(1) : 50-55.

**DE GUIRAN G., 1983-** Les nématodes parasites des cultures. La littorale S.A. Ed. Bézier. 42p.

**DEHNE H.W. and NOGA. G., 2003-** *Ulocladium atrum* as an antagonist of grey mould (*Botrytis cinera*). Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. 140p.

**DJELAILA Y., 2006-** Étude bioécologique de *Mérione Shawi Duvernoy* (rongeurs – cricidés) dans la wilaya de Tiaret, 78 p.

**ESMENJAUD D., MARZIN H. et RIVOAL R., 1987-** Forets attaques du nématode *Heterodera avenae* sur le blé dur dans le Lauragais. *Rev. Phytoma. Déf. Des cultures*. N°390, Paris, pp. 25-27

**FAO., 2009-** (Food and Agriculture Organization). Les principaux producteurs et consommateurs de pomme de terre dans le monde. FAOSTAT.

**FELDMAN et SEARS., 1981-** Les ressources génétiques du blé. *Pour la science* N°42pp.35-38.

**FERHAOUI S., 1993 -** Contribution à l'étude de la bioécologie du nématode à Kyste des céréales *Heterodera avenae* (Nematoda-heteroderidae) dans la région de Djendel. Essai de comportement variétal. Th. Ing. Agro., Inst. Agro., Alger, 119p.

**GAIRE R., PRICE T. J. A. et FIDDIAN W. E. H., 1965-** Cereal root eelworm *Heterodera avenae* and spring barley varieties. *Nematologica*, E.J. Brill, Leiden, Vol.pp.267- 272.

**GATE, P. H., 1995-** Écophysiologie du blé, Ed, Lavoisier Tech et Doc, Londres, Paris

**GAURE H. S., 1988-** Dissemination and mode of survival of nematodes in dust storms. *Indian J. Nematol.*, 18: 94-98.

**GRAHAM C. W., (1980)-** The effects of rainfall and soil type on the population dynamics

**GRECO N., 1981-** Hatching of *Heterodera carotae* and *H. avenae*. *Nematologica* 27, 366-371.

**GRECO N., D'ADDABBO T., BRANDONISIO A., et ELIA F., 1993-** Damage to Italian Corps Caused by Cyst-forming Nematodes. *Supplement to Journal of Nematology*. V. 25 (4S), PP. 836-842.



## Références bibliographiques

---

**GUEBALOU O., 1993** - Contribution à l'étude de l'influence de la température et des exsudats racinaires sur l'éclosion des Kystes du nématode des céréales *Heterodera avenae* ( *Nematoda, Heteroderidae* ). Th. Ing. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach, Alger, 70 p.

**HADDADI F., 2015-** les nématodes à Kystes *Heterodera* spp. Des céréales en Algérie : Etudes sur la distribution, les espèces, les pathotypes et les antagonistes. Ecole nationale supérieure Agronomique -El Harach- Alger 2015.

**HAMROUN W., 2006-** Etat d'infestation de quelque région céréalière d'Algérie. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El-Harrach, 121 p.

**HIDALGO-DIAZ L. and KERRY B.R., 2008-** Integration of biological control with other methods of nematode management. In : Integrated Management. Integrated Management and Biocontrol of vegetable and Grain Crops. Eds. Ciancio A & MukerjiK . Springer Dordercht The Netherlands : 29-49.

**HODDA M. et LOWRENCE I., 2009-** Potato cyst nematode in Australia. Farming Ahead May 2009. N. 208 ([www.farmingahead.com.au](http://www.farmingahead.com.au)).

**JOHNSON P.W. et FUSHTEY S.G.** The biology of the cyst nematode *Heterodera avenae* in Canada II-nematode development and related anatomical changes in roots of oats and corn. *Nematologica*, V. 12, Leiden, pp. 630-638.

**JONES F. M., 1982-**The sol plant environnement nématodes. Ed. Southey, London, pp.64-82

**JONSSON H.B. and LOPEZ-LIORCA L. V., 2001-** Biology of nemato-phagous fungi . In : Mycology : Trichomycetes other fungal groups and mushrooms. Ed. Misra J.K and Horn B.W., Science Publishers : 145-173.

**KERRY B. R., 1988–** Fungal parasites of Cyst Nematodes. *Agriculture Ecosystems and Environment* 24: 293-305.

**KERRY B.R. and CRUMP D.H., -** The dynamics of the decline of the cereal cyst nematode *Heterodera* sp in four soils under intensive cereal production. *Fundamental and Applied Nematology*. 21 : 617- 625.

**KERRY B.R. and CRUMP D.H., 1980 –** Two fungi parasitic on females of cyst-nematodes (*Heterodera* sp.). *Trans. Br. Mycol. Soc.* 74(1) : 119-125.

**KERRY B.R., CRUMP D.H. and MULLEN L.A., 1982a –** Natural control of the cereal cyst nematode *Heterodera* sp Woll. By soil Fungi at three sites. *Crop Protection* 1 : 99-109.

## Références bibliographiques

---

- KERRY B.R., CRUMP D.H. and MULLEN L.A., 1982b-** Studie of the cereal cyst nematode *Heterodera sp* under continuous cereals 1975-1978. II. Fungal parasitism of nematode females and eggs. *Annals of Applied Biology*. 100 : 489-499.
- LACHENAUD P., 1977-** Observations comparatives, in vitro du développement de 2 races d'*Heterodera avenae* sur plusieurs hôtes et à différentes températures. Mémoire de fin d'étude (DEA), INRA, Paris Grignon, 37p
- LACOMBE J.P. et GARCIN C., 1980-** Résultats - récents obtenus avec l'aldicabe contre nématodes sur céréales à paille. Deuxième Conf. Sur les Maladies de plantes, Bordeaux, PP. 437-444.
- LAFFONT.T .M., 1985-** les maladies des céréales et maïs, édition, la nouvelle librairie, , Paris, 96 p.
- MEAGHER J. W. et BROWN R. H., 1974-** Microplot experiments on the effect of plant hosts on populations of the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) and on the subsequent yield of wheat. *Nematologica*, 20 :337-346.
- MEAGHER J.W., 1970-** Senonal fluctuation in number of larvae of the cereal cyst (*Heterodera avenae*) and *Pratylenchus minyus* and *Tylenchorhynchus brevidens* in soil. *Rev. Nematologica*, V. 16, Leiden, pp. 333-347.
- MEDDAH.D., 1999-** Étude du comportement des nématodes à kystes des céréales *Heterodera avenae* WOLL, envers quelques variétés de blés.
- MEDDAS K., 1993-** Contribution à l'étude de la distribution verticale d'*heterodera avenae* dans la région de Djendel. Th. Ing. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach, Alger, 41 p.
- MENSI I., KALLEL S. NAMOUCHI-KACHOURI N., 2011-** Recherches sur des antagonistes naturels d'*Heteroderan sp* dans diverses conditions de cultures de blé dur *Triticum durum* en Tunisie. *Nematol. Medit.* 39: 141-149.
- MESKINE, M., et ABAD., 1983-** Importance et répartition des nématodes phytoparasites associées aux cultures de blé et orge au Maroc. *EL AWANIA Maroc*, N°80, pp : 123 – 130.
- MICHEL LACROIX ., 1987-** Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, direction de l'innovation scientifique et technologique, 160p.
- MOKABLI .A., 2002-** Biologie des nématodes à kystes (*Heterodera*) des céréales en Algérie. Virulence de quelques populations à l'égard de diverses variétés et lignées de céréales. These Doct, Inst , Nat ,Agro . El Harrach, 63P

## Références bibliographiques

---

- MOKABLI A., 2006-** Geographical distribution of the cereal cyst nematodes, *Heterodera avenae* and *H. latipons* and the susceptibility of some cereal cultivars to infection in Alegria. Ninth Arab Congress of Plant Protection, 19-23 November 2006, Damascus, Syria, p. E-112.
- MOKABLI A., VALETTE S. et RIVOAL R., 2001 a-** Différentiation de quelques espèces de nématodes à Kystes des céréales et des graminées par électrophorèse sur gel d'acétate de cellulose. Rev. Nematol. Medit., 29, pp. 103-108.
- MOR M., COHN E. et SPIEGEL Y., 1992-** Phenology, pathogenicity and pathotypes of cereal cyst nematodes, *Heterodera avenae* and *H. latipons* (Nematoda: *Heteroderidae*) in Israel. *Nematologica* 38, 494-501.
- MOULE, C., 1980-** Les céréales, Ed, La Maison Rustique, Paris, 318 p.
- MULVEY, R., et GOLDEN, A.M., 1983-** An illustrated key to the cyste forming general and species of *Heterodera* in the western .
- NICOL J.H., RIVOAL R., VALETTE S., BOLAT N., AKTAS H., et al., 2003-** The frequency and diversity of the cyst and lesion nematode on wheat in the Turkish central Anatolian plateau, Journal of nematology, N°4, 272p
- NOBBS .J.M., 1989-** Identification of species of *Heterodera* and *Globodera* .CAB, Inter, Inst, parasito. Fourth international course on the identification of plant parasitic nematodes of economic importance ; 13p.oats (*Avena sativa*). Ann. Appl. Bio., 94: 243-253.
- Of cereal cyst-nematode (*Heterodera avenae*) on spring barley (*Hordeum vulgare*) and spring
- OUDDENE, A., 2010-** Étude de l'état d'infestation de quelques parcelles par *Heterodera avenae* à Tiaret et du pouvoir de multiplication d'une population de ce nématode sur deux variétés de blé dur. Thèse, Ing, Agro, Inst, Nat, Agro, Al Harrach, pp : 16-40
- PANCHAUD- MATTEI. E., 1990-** Possibilités d'utilisation pratique en agriculture contre les nématodes à galles et kystes : propriétés nématoides de quelques plantes P.H.M, revue horticole N° 309, septembre 1990. pp : 29-31
- PASTRE et ROA., 1993-** The control of insect pests in oil seed rape : deltamethrin file, PP192-201.
- PERSON-DEDRYVER F., 1989-** Les nématodes. In: Ennemis et maladies des prairies. Ed. INRA, pp. 173-177.
- PETERS, A., et SALAMBIER, J.F., 1994-** Contrôles des mauvaises herbes, agronomie moderne, Ed, Halier Torino ,544 p.
- RAMMAH A., 1994-** Cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Morocco. Arab and Near East Plant Protection Newsletter, 19:40

## Références bibliographiques

---

- REDDY P. P., 1983-** Plant nématology. Agric. Publish. Acad., India, 287p.
- RITTER. M., 1982-** Importance des nématodes à kystes des céréales. Bull. OEPP. V 12. N° 4 pp : 307 -314.
- RIVOAL, R ., PERSON DE DRYVER , F ., et DOUSSINAULT , G ., 1985-** Polymorphismes chez les nématodes à kyste des céréales *Heterodera avenae* WOLL, conséquences sur sa nuisibilité et sur leur sélection de variété résistance en France .INRA .Centre de recherche de Renne laboratoire de Zoologie, pp : 743-749.
- RIVOLOAL R., 1986 b-** Nuisibilité du nématode à Kyste *Heterodera avenae* et perspectives de lutte. In : les rotations céréalières intensives. Dix années d'étude concentrées. *Journ. Etudes*, INRA., pp. 203-212
- RIVOAL ,R., DOUSSINAULT ,G., et JAHIER ,J., 1986-** Resistance au développement d'*Heterodera avenae* WOLL chez différents espèces de *Triticum* ,Agronomie , 6 : pp :759-765
- RIVOAL .R., 1982-** Caractérisation de deux écotypes d'*Heterodera avenae* à France par leur cycle en condition thermique d'éclosion.pp :75-79.
- RIVOAL C., PAILLARD S ET POLIAKOFF F., 2007a-** Test biochimique : Test d'hypersensibilité sur plant de tabac. AMO07B18 ver02.LNPV.France.
- RIVOAL C., PAILLARD S ET POLIAKOFF F., 2007b-** Test biochimique : Oxydase. AMO07B07 ver 02. LNPV ; France.
- RIVOAL C., PAILLARD S ET POLIAKOFF F., 2008a-** Test biochimique : Hugh & leifson. AMO07B11 ver02.LNPV.France.
- RIVOAL C., PAILLARD S ET POLIAKOFF F., 2008b-** Test biochimique : la coloration de Gram. AMO07B19 ver 02. LNPV ; France.
- RIVOAL R. ,1987-** Cycle biologique des nématodes à kystes *Heterodera* (INRA ), Rennus ,1p
- RIVOAL R., 1975-** Le nématode à kyste des céréales, *Heterodera avenae* en France : nuisibilité, caractéristiques biologiques et perspectives de lutte. Bull .O.E.P.P.V5.N°4 ; pp : 425-435.
- RIVOAL R., et COOK, R., 1993-** Nematode pests of cerals .Plant parasite .Nemato In .Temperate .Agric, CAB .Inter: pp: 259 -303.

## Références bibliographiques

---

**RIVOAL R., JAHIER, J., et HULLE, M., 1993-** Partial resistance to *Heterodera avenae* in wheatlines with the 6MV chromosome from *Aegilops ventricosa*. Journal nematology. V 25 .N°2, pp : 265 -269.

**ROMERO D., 1982-** Nuevos datos sobre la morfología de *Heterodera avenae* en España. Rev. Nematol. Medit., N°18, pp. 145-149

**SACRISTAN J.C., SACRISTAN A. , et BELLO , A., 1983-** Intéres de los recursos Filogenéticos y de las variedades resistentes en el control de *Heterodera avenae* WOLL ,nematode específico impacto en el sector agrario .ITEA .V .exta .N°2 , Espagne , pp : 333-347

**SACRISTAN J. C., SACRISTAN A. , et BELLO , A., 1983-** Intéres de los recursos Filogenéticos y de las variedades resistentes en el control de *Heterodera avenae* WOLL ,nematode específico impacto en el sector agrario .ITEA .V .exta .N°2 , Espagne , pp : 333-347

**SADEK M. A., 1977-** Plant Nematology an Agriculture Training Aid. Department of food and agriculture division of plant industry laboratory Nematology, California. Library of

**SAYRE R. M., 1986 –** Pathogens for biological control of nematodes. Crop protection. 5(4) : 268- 276.

**Schaad NW, Jones JB, Chun W., 2001-** Laboratory guide for Identification of plant Pathogenic Bacteria. APS Press. Third edition 373p.st Paul, Minnesota (US).

**SCHNEIDER R. J., 1965-** Les nématodes des racines des céréales, Phytoma, pp : 17-22.

**SCOTTO LA MASSES C., 1961-** Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie. Journ. D'Etude et d'Inform., Versailles, pp. 83-109.

**SHEPHERD A. M. CLARK, S. A., et DART, P. J., 1972-** Cuticule structure genus *Heterodera – Nématologica*, V18, Leiden : pp : 1-17.

**SHEPHERD A. M., CLARK S. A. et KEMPTON A., 1973-** Spermatogenesis and sperm ultrastructure in some cyst-nematodes *heterodera spp.* Nematologica, V.19, Leiden, pp.551-560.

**SHIABOVA T. N., 1982-** Pathogenicity factors of *Heterodera avenae*. Nauchno Tekhnicheskii Byulleten' VASKHNIL, Sibirskoe Otdelenie, 22: 32-36

**SIDDIQUI Z. A. and IRCHADI M., 1996-** Biological control of plant parasitic nematodes by fungi. Bioresource Technology, 58: 229-239. Jonsson et Lopez-Llorca, 2001

**SIKORA R. A., 1987-** Plant parasitic nematodes of wheat and barley in temperate semi-arid regions comparative analysis. In "Nematodes parasitic to cereal and legumes in temperate semi-arid regions. "Aleppo, pp. 46-68.

## Références bibliographiques

---

- SIMON H., CODACCIONI, P., et LECOEUR, X., 1989-** Produire des céréales à paille, Ed Technique et Documentation, Paris
- SMAHA D., 1998-** Etude de la biologie du nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* Wollenweber, 1924. Essai de comportement de 6 variétés de blé dur vis-à-vis de deux populations de ce parasite. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 170 p
- SMAHA D., 1997-** Étude de la biologie du nématode à kyste de céréales *Heterodera avenae*
- SMILEY R. W., INGHAM R. E., UDDIN W. et COOK G.H., 1994-** Crop sequences for winter wheat in soil infested cereal cyst nematode and fungal pathogens. Plant Disease,
- SOLTNER D., 1990-** Les grandes production végétales 16 Ed – céréales, plant sarclées et prairies Coll, Science et Technique, Agr, 464 p.
- SOSA MOSS. C., 1966-** Contribution à l'étude d'un nématode phytoparasites *Heterodera avenae* Woll, thèse Fasci, Uni, Paris. p 140
- STONE A. R., et HILL.A.J., 1982-** Some problème posed by the *Heterodera avenae* complex, E.P.P.O, Bulletin, V12, pp : 317-320.
- STONE A. R., 1977-** Recent developpements and some problems in the taxonomy of *Heterodera*. Rev. Nematologica. V. 23, Leiden, pp. 273-288.
- STONE A. R. 1977-** Recent developpements and some problems in the taxonomy of *Heterodera*. Rev. Nematologica. V. 23, Leiden, pp. 273-288.
- STRILING G. R., 1991-** Biological Control of Nematodes : ProgressProblems and prospects. Ed CAB International, Wallingford Oxon, 282 p.
- TRIGIANO, R. N., WINDHAM, M.T., et WINDHAM, A.S., 2004-** Plant pathology: concepts and laboratory exerces. CRC press, Wachington, 702 p
- Tylenchida.). Systematic parasitology. V. 7, Pays-Bas, pp. 295-328.
- VOLLOTTON. R., 1976-** *Heterodra avenae*. le nématode à kyste des céréales un parasites du mais peu connu en Suisse Ramande. Rev, Suisse agriculture : pp : 160-163.
- VOVLAS N., 1985-** Morphologie and histology of the cereal cyst-nematode, *Heterodera avenae* Woll., attacking wheat, oat and barley in Italy. Rev. Nematol. Medit., V. 13, pp. 87-96.
- WILIAMS T. D. et SIDDIQI M.R., 1972-** *Heterodera avenae*. In: descriptions of plantparasitic nematodes. Commonwealth Institute of Helminthology set. N°2, clows et Sons Ltd,London, 4p.

## Références bibliographiques

---

**WOUTS W. M., 1985.** Phygenetic classification of the family *Heteroderidae* (Nematoda,

**WOUTS W. M., 1985.** Phygenetic classification of the family *Heteroderidae* (Nematoda,Tylenchida.). Systematic parasitology. V. 7, Pays-Bas, pp. 295-328

**WOUTS W. M., 1972.** A version of the family Heteroderidae (nematode, Tylenchoidae)