

Réf : 24/FSNVST/D...../Ms/.....

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de

### MASTER

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Productions végétales

---

---

## Etat d'infestation de quelques parcelles emblavées en céréales par les nématodes à kystes *Heterodera* sp. et des facteurs influençant leur développement

---

---

*Présenté par:*

AHMED BENSOLTANE Samira

Soutenu publiquement le 30/06/2024 devant le jury composé de :

<i>Président(e)</i>	Mme AYACHE S.	MAB	U. Khemis Miliana
<i>Promoteur</i>	Mme DJEBROUNE A.	MCA	U. Khemis Miliana
<i>Examineur</i>	M. ABDERRAHMANE O.	MCA	U. Khemis Miliana

Année universitaire : 2023 / 2024



# DEDICACES



Je dédie ce travail à ma famille, mes frères et sœurs, et mes amis, dont le soutien indéfectible m'a permis d'atteindre cet objectif.

**À ma famille**, qui a toujours été là pour moi, offrant amour, encouragement et inspiration. Votre foi en moi m'a donné la force de persévérer.

**À mes frères et ma sœur**, pour leur compréhension, leur patience et leurs encouragements constants. Vous avez toujours cru en moi, même dans les moments les plus difficiles.

**À mes amis**, pour leur soutien inconditionnel, leur camaraderie et leur aide précieuse tout au long de ce parcours. Vous avez été une source de motivation et de joie, rendant ce voyage plus supportable et plus agréable.

Merci à vous tous, du fond du cœur, pour avoir été à mes côtés. Sans vous, ce mémoire n'aurait pas été possible.

**Samira**

# *Remerciements*

Au terme de cette étude, je remercie avant tout **Dieu** le Tout Puissant, de m'avoir donné la foi et le courage et de m'avoir guidé pour l'accomplissement de ce travail.

En premier lieu, je remercie chaleureusement ma directrice de recherche, **Mme DJEBROUNE A.**, pour son encadrement exceptionnel, sa patience, et ses précieux conseils tout au long de ce travail. Votre expertise et votre soutien indéfectible ont été essentiels à la réalisation de ce projet.

Je tiens à exprimer notre respectueuse reconnaissance à **Mme AYACHE S.** pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant la présidence de jury de ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Mes remerciements les plus respectueux vont également à **Mr ABDERRAHMEN O.** Nous a fait l'honneur de prendre connaissance de ce travail et d'en participer au jury en tant qu'examineur.

Mes vifs remerciements s'adressent à tous les enseignants et ensemble du personnel de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et à tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce modeste mémoire.

Je remercie l'ensemble du personnel du laboratoire de l'Université de Khemis-Miliana pour leur assistance technique, leur disponibilité, et leur collaboration constante. Vous avez créé un environnement de travail propice à la recherche et à l'innovation, et pour cela, je vous suis profondément reconnaissant.

Je remercie tous les agriculteurs d'avoir accepté notre échantillonnage du sol.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de cette aventure académique.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

Ce mémoire est le fruit de nombreuses collaborations et je suis honoré d'avoir eu l'opportunité de travailler avec chacun d'entre vous.

Merci à tous.

## **Etat d'infestation de quelques parcelles emblavées en céréales par les nématodes à kystes *Heterodera* sp. et des facteurs influençant leur développement**

### **Résumé:**

Cette étude s'est penchée sur l'état d'infestation de 31 parcelles de céréales par le nématode à kystes *Heterodera* sp. dans 9 communes de la wilaya d'Ain Defla et l'influence des conditions de culture sur le développement de ces ravageurs.

L'étude a montré que ces parasites sont présents dans 6 communes mais avec une fréquence d'infestation variable, allant de 33,33 à 100% et dans 11 parcelles (35,48%). Le degré d'infestation par ces bioagresseurs varie entre les parcelles et il dépasse le seuil de nuisibilité dans trois parcelles prospectées. On a noté aussi, des faibles degrés d'infestation dans certaines parcelles et autres parcelles sont indemnes.

Le développement de ces parasites est lié à plusieurs facteurs : le type et la durée de la rotation et les pratiques culturales. Ainsi que, le manque de formation chez les agriculteurs, et l'inefficacité ou l'absence de vulgarisation ont un rôle primordial dans la dissémination de ces nématodes.

**Mots clés :** Céréales, *Heterodera*, Ain Defla, infestation, facteurs de développement.

## **State of infestation of some plots planted with cereals by cyst nematodes *Heterodera* sp. and factors influencing their development**

### **Abstract:**

This study looked at the state of infestation of 31 cereal plots by the cyst nematode *Heterodera* sp. in 9 municipalities of the wilaya of Ain Defla and the influence of growing conditions on the development of these pests.

The study showed that these parasites are present in 6 municipalities but with a variable infestation frequency, ranging from 33,33 to 100% and in 11 plots (35,48%). The degree of infestation by these pests varies between plots and exceeds the harmful threshold in three surveyed plots. We also noted low levels of infestation in certain plots and other plots were unaffected.

The development of these parasites is linked to several factors: the type and duration of the rotation and cultural practices. As well as, the lack of training among farmers, and the inefficiency or absence of extension play a key role in the dissemination of these nematodes.

**Key words:** Cereals, *Heterodera*, Ain Defla, infestation, development factors

## ملخص :

اجرينا هذا العمل لدراسة حالة الإصابة في 31 قطعة ارض مزروعة بالحبوب مزروعة بالحبوب لدراسة حالة بنيماتودا الكيس heterodera sp واصابتها و تأثير العوامل الخارجية في تطور هذه الاخيرة

كشفت الدراسة عن وجود هذه الطفيليات في 6 بلديات من اصل 9 لكن بتردد مختلف من بلدية لاخرى , يتراوح بين 33, 33% الى 100% و في 11 قطعة ارض 35, 48%

تختلف حالة الإصابة بنيماتودا الكيس من حقل لآخر و لاحظنا ان نسبة الضرر تتجاوز العتبة في ثلاث قطع ارض , كما لاحظنا نسبة ضرر طفيفة الى منعدمة في باقي القطع

يمكننا ربط تطور هذه الطفيليات الى عدة اسباب اهمها نوع ومدة الدورة الزراعية والممارسات الزراعية. بالإضفة إلى ذلك، يلعب نقص المعلومات بين المزارعين و غياب الإرشاد دورًا أساسيًا في انتشار هذه النيماتودات

الكلمات المفتاحية :

heterodera sp, الحبوب, عين الدفلى, الإصابة, عوامل التطور,

## Liste de figures

Figure 1 : Morphologie de blé. ....	5
Figure 2: Structure des grains de céréales .....	5
Figure 3 : Schéma de cellules de l'albumen .....	6
Figure 4 : Grain de sorgho .....	7
Figure 5 : Phases du cycle végétatif du blé .....	10
Figure 6 : Production céréalière, utilisation et stocks dans le monde de 2011 à 2022 .....	12
Figure 7 : Œufs embryonnés d' <i>Heterodera avenae</i> .....	21
Figure 8 : Morphologie générale d'un nématode phytophage.....	22
Figure 9 : Larve du 3ème stade (L3) d' <i>Heterodera avenae</i> .....	23
Figure 10 : Larve du 4ème stade (L4) d' <i>Heterodera avenae</i> .....	23
Figure 11 : . Femelle blanche sur racine d' <i>H. avenae</i> .....	24
Figure 12 Kyste plein (A), kyste écrasé (B) montrant les oeufs de nématode à kystes <i>H. avenae</i> des céréales. ....	25
Figure 13 : La forme de kyste d' <i>Heteroera</i> .....	25
Figure 14 : Cycle biologiques d' <i>H. avenae</i> .....	27
Figure 15 Aspect hétérogène d'une parcelle de céréales .....	31
Figure 16 : Aspect coralliforme sur racine de céréale. ....	32
Figure 17 : Localisation de la Wilaya d'Ain-Defla. ....	38
Figure 18 : Schéma d'échantillonnage au niveau des parcelles prospectées.....	40
Figure 19 : Échantillonnage du sol.....	41
Figure 20 : Conditionnement des échantillons du sol au laboratoire.....	41
Figure 21 : Séchage du sol .....	46
Figure 22 : Triage du sol. ....	46
Figure 23 : . Pesage du sol. <b>A</b> : Prise de poids de l'échantillon ; <b>B</b> : Déversement de l'échantillon dans un sac; <b>C</b> : Sacs contenant le sol pesé.....	47
Figure 24 : Appareil de Fenwick .....	48
Figure 25 : Extraction des kystes d' <i>Heterodera</i> par l'appareil de Fenwick.....	49
Figure 26 : Prélèvement des kystes d' <i>Heterodera</i> sous une loupe binoculaire. ....	50
Figure 27 : Kystes d' <i>Heterodera</i> présentant différentes couleurs et tailles observés sous loupe binoculaire au grossissement (G : 10×2). ....	53
Figure 28 : Œufs et larves d' <i>Heterodera</i> vu sous loupe binoculaire (G : 10 ×4) .....	54
Figure 29 : Pourcentage des échantillons de sol infestés et non infestés par les <i>Heterodera</i> .....	57
Figure 30 : Importance de l'infestation évaluée en nombre de kystes en fonction des parcelles dans la wilaya d' Ain Defla. ....	60
Figure 31. : Degrés d'infestation des <i>Heterodera</i> dans les différentes parcelles dans la wilaya d' Ain Defla.....	61
Figure 32 : Nombre moyen d'œufs et larves L2 par kyste dans les parcelles infestées dans la wilaya d' Ain Defla. ....	61

## Liste des tableaux

Tableau 1: Famille des céréales .....	3
Tableau 2 : Maladies qui impactent les céréales .....	19
Tableau 3 : La durée du cycle de développement d' <i>H. avenae</i> .....	25
Tableau 4 : Les communes étudiées et des informations sur les parcelles prospectées et les échantillons prélevés dans la région d' Ain Defla.....	42
Tableau 5 : Fréquence d' <i>Heterodera</i> sp. dans l'ensemble des échantillons de sol prélevés dans la région d' Ain Defla. ....	55
Tableau 6 : Résultats de l'analyse nématologique des parcelles prospectées dans la région d' Ain Defla. ....	57
Tableau 7 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des communes prospectées dans la région d' Ain Defla sur les variables liées aux nématodes <i>Heterodera</i> sp.....	62

## Liste des abréviations

ANOVA : Analysis of Variance (Analyse de la variance).

Cm : Centimètre.

DSA : Direction des Services Agricoles.

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unis pour l'alimentation et l'agriculture).

Fig. : Figure.

g : Gramme.

H. : *Heterodera*.

Ha : Hectare.

Kg : Kilogramme.

L1 : Stade larvaire 1.

L2 : Stade larvaire 2.

L3 : Stade larvaire 3.

NKC : Nématode à Kyste des Céréales.

qx : Quintaux.

µm: Micromètre.

°C : Degré Celsius.

% : Pourcentage.

# Sommaire

## Table des matières

1	Introduction générale.....	1
<b>Partie I: Synthèse bibliographique</b>		
<b>Chapitre I : Généralités sur les céréales.....</b>		
2.1	I.1. Définition de céréales .....	3
2.2	Classification botanique des céréales .....	3
2.3	Origine et historique de céréales .....	3
2.4	Morphologie de blé.....	4
2.5	. Structure de grain de céréale.....	5
2.5.1	. Structure physique.....	6
2.5.2	. Enveloppes.....	6
2.5.3	Albumen.....	6
2.5.4	Germe .....	7
2.6	Composition biochimique de grain de céréale .....	7
2.7	Cycle de développement de blé .....	8
2.7.1	Période végétative .....	8
2.7.2	Période reproductrice.....	8
2.8	. Utilisation des céréales .....	10
2.8.1	Alimentation humaine.....	10
2.8.2	. Alimentation animale .....	11
2.9	. Production des céréales .....	11
2.9.1	. Dans le monde .....	11
2.9.2	En Algérie.....	12
2.10	. Impact des céréales .....	13
2.10.1	. Impact économique.....	13
2.10.2	. Impact agricole .....	14
2.10.3	Impact sur la sécurité alimentaire.....	14
2.11	Politiques gouvernementales .....	14
2.11.1	Soutien aux agriculteurs .....	14
2.11.2	Promotion du commerce.....	15

2.11.3	. Gestion des stocks .....	15
2.12	Exigences pédo-climatiques des céréales.....	15
2.12.1	Climat .....	15
2.12.2	L'eau.....	15
2.12.3	L'éclairement .....	15
2.12.4	. Le sol .....	16
2.12.5	Fumure .....	
2.13	Contraintes de développement de la céréaliculture.....	16
2.13.1	Contraintes climatiques .....	16
2.13.2	. Maladies et parasites .....	17
<b>Chapitre II</b>	<b>: Généralités sur les nématodes à kyste des céréales du genre <i>Heterodera</i></b> .....	<b>20</b>
1.1	. Position systématique.....	20
1.2	Les œufs.....	21
1.2.1	. Les larves.....	22
1.2.2	. Le mâle.....	23
1.2.3	La femelle .....	23
1.2.4	Le kyste.....	24
1.3	Le cycle biologique d' <i>Heterodera avenae</i> .....	25
1.4	. Facteurs favorables au développement d' <i>H. avenae</i> .....	27
1.4.1	. Les facteurs abiotiques .....	27
1.4.2	. Les facteurs biotiques.....	29
1.5	. Symptomatologie .....	30
1.5.1	. Symptômes en plein champ.....	30
1.5.2	Symptômes sur la plante.....	30
1.6	. Les facteurs de dissémination .....	32
1.6.1	. L'homme .....	32
1.6.2	Le matériel.....	33
1.6.3	Le vent .....	33
1.6.4	L'eau.....	33
1.7	. La lutte contre <i>H. avenae</i> .....	33
1.7.1	. Mesures préventives.....	33
1.7.2	. Mesures curatives .....	33
<b>Partie II: Analyse expérimentale</b>		
<b>Chapitr I</b>	<b>: Matériels et méthodes</b> .....	<b>37</b>
1.1	Objectif de l'étude.....	37

1.2	Présentation de la région d'étude .....	37
1.2.1	Situation géographique.....	37
1.2.2	Caractéristiques du sol .....	38
1.2.3	. Climat.....	39
1.3	. Analyse nématologique .....	39
1.3.1	. Échantillonnage du sol .....	39
1.3.2	. Séchage du sol.....	46
1.3.3	. Pesage du sol.....	47
1.3.4	. Extraction des kystes.....	47
1.3.5	. Récupération des kystes.....	50
1.3.6	Dénombrement.....	50
1.4	Analyse statistique des résultats.....	51
<b>Chapitre II : Résultats et discussion.....</b>		<b>53</b>
2.1	Résultats .....	53
2.1.1	. Caractéristiques morphologiques des nématodes à kyste des céréales.....	53
2.1.2	Fréquence des kystes d' <i>Heterodera</i> dans l'ensemble des échantillons .....	55
2.1.3	. Dénombrement des kystes d' <i>Heterodera</i> .....	57
2.1.4	. Analyse statistique.....	61
2.2	Discussion.....	62
Conclusion générale .....		64
Références bibliographiques .....		67



## Introduction générale

Les céréales constituent l'aliment de base en Algérie. La filière céréalière représente 30% de la production agroalimentaire nationale. Son importance est également mesurée par le nombre d'agriculteurs, estimé à 600 000, qui interviennent dans la céréaliculture ainsi que par celui des services agricoles algériens. Par l'importance des superficies occupées et par son rôle dans la sécurité alimentaire du pays, la céréaliculture occupe une place prépondérante dans la production agricole de l'Algérie. En Algérie, en 2021, la production céréalière était estimée à 3,98 millions de tonnes pour une superficie de 2,11 millions d'hectares (FAOSTAT, 2023). Parmi les agents biotiques qui limitent la production, les nématodes à kystes du genre *Heterodera* provoquent des pertes considérables et représentent une contrainte majeure à l'intensification de la production de céréales (Chabert *et al.*, 2012; Dababat *et al.*, 2015; Righi *et al.*, 2017).

Ces parasites souterrains attaquent les racines des plantes, provoquant des pertes significatives de rendement et affectant la santé globale des cultures. L'état d'infestation des parcelles cultivées en céréales par *Heterodera* sp. est une préoccupation croissante pour les agriculteurs et les chercheurs, car une infestation sévère peut entraîner des pertes économiques substantielles.

L'infestation par les nématodes à kystes est influencée par divers facteurs, notamment les conditions environnementales, les pratiques culturales, et les caractéristiques spécifiques des parcelles agricoles. Les conditions climatiques, telles que la température et l'humidité, jouent un rôle crucial dans le cycle de vie des nématodes et leur capacité à infecter les plantes hôtes. De plus, les pratiques agricoles telles que la rotation des cultures, l'utilisation de variétés résistantes et les techniques de gestion des sols peuvent moduler l'ampleur de l'infestation.

L'étude de l'état d'infestation des parcelles en céréales par ces nématodes constitue donc un sujet d'intérêt primordial pour comprendre et gérer efficacement ces problèmes.

Ce présent travail est subdivisé en quatre chapitres :

Chapitre 1 : Comprend les données bibliographiques concernant la culture de céréales (ces conduites ; ces exigences ; ces contraintes ...) ;

Chapitre 2 : Comprend les données bibliographiques concernant le nématode à kyste des céréales du genre *Heterodera* (sa morphologie; ces exigences ; les méthodes de lutte ... ) ;

Chapitre 3 : Est consacré à la présentation de méthodologie adoptée sur terrain et au laboratoire et le matériel utilisé ;

Chapitre 4 : Regroupe la totalité des résultats obtenus et leur discussions;

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale et les perspectives souhaités dans l'avenir.

Cette étude vise à évaluer l'état d'infestation de certaines parcelles emblavées en céréales par les nématodes à kystes *Heterodera* sp. et à identifier les facteurs qui influencent leur développement. En comprenant mieux les dynamiques de l'infestation et les conditions favorables à la prolifération des nématodes, il est possible de développer des stratégies de gestion intégrées pour minimiser les impacts négatifs sur les cultures céréalières. L'analyse de l'infestation par *Heterodera* sp. repose sur des échantillonnages systématiques du sol et des racines des cultures, permettant de quantifier le nombre de kystes et d'œufs présents. Ces données sont essentielles pour évaluer la sévérité de l'infestation et pour élaborer des recommandations agronomiques adaptées aux conditions locales. Cette étude se concentre sur plusieurs communes de la wilaya d'Aïn Defla en Algérie, une région où les cultures céréalières jouent un rôle clé dans l'économie agricole locale.

**PARTIE I :**  
**Synthèse bibliographique**

# **Chapitre I :**

## **Généralités sur les céréales**

## Chapitre I : Généralités sur les céréales

### 1.1 . Définition de céréales

Le terme céréale est un dérivé du mot latin "*cerealis*" signifiant «grain» qui est botaniquement, un type de fruit appelé caryopse (Sarwar *et al.*, 2013). Les céréales regroupent des plantes de la famille des Poacées (Graminées). Les cinq céréales les plus cultivées dans le monde sont : le maïs, le blé, le riz, l'orge et le sorgho. Le blé (*Triticum* sp.) est une graminée annuelle aux racines fibreuses à tiges hautes et généralement creuses, portant des nœuds d'où partent des feuilles, des sommets de la tige portent une grappe des fleurs qui se transforme en grains (Gate, 1995).

### 1.2 Classification botanique des céréales

La classification des céréales est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1: Famille des céréales (Science et technologie des céréales)

Famille	Graminées					
Sous famille	Festucoideae					Panicoideae
Tribu	Triticeae			Aveneae	Oryzeae	Tripsaceae
Sous tribu	Triticineae					
Genre	<i>Triticum</i>	<i>Secale</i>	<i>Hordeum</i>	<i>Avena</i>	<i>Oryza</i>	<i>Zea</i>
Espèce	<i>T. aestivum</i> (blé tendre) <i>T. durum</i> (blé dur)	<i>S. cereale</i> (seigle)	<i>H. vulgare</i> (orge)	<i>A. sativa</i> (avoine)	<i>O. sativa</i> (riz)	<i>Z. mays</i> (maïs)

### 1.3 Origine et historique de céréales

Trois céréales blé, riz et maïs constituent la base alimentaire des populations du globe. Durant le développement de la civilisation indo-européenne, le blé est devenu la principale céréale des peuples occidentaux sous climat tempéré (Henry et De Buyser, 2001). Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme. Il était à la base de l'alimentation des premières civilisations humaines (Feldmen et Sears, 1981).

La consommation individuelle est évaluée en 2000, à 205 Kg/ an en Tunisie, 219 Kg/ an en Algérie et 240 Kg/ an au Maroc (Boulal *et al.*, 2007).

Les espèces des céréales cultivées ont les centres d'origines suivantes :

- Centre ouest de la Chine : le millet.
- Asie du sud-est : le seigle et le riz.
- Asie centrale : le blé tendre.
- Moyen orient : le blé dur, le seigle et l'avoine.
- Éthiopie : l'orge.
- Amérique centrale : le maïs.

Les céréales ont constitués la base principale de l'alimentation de ces premières civilisations ; riz ; pour les civilisations Asiatiques, blé ; pour celle des bassins Méditerranéens et du proche -Orient (Ait Slimane *et al.*, 2008).

### 1.4 Morphologie de blé

Le blé se présente comme une plante herbacée à feuilles assez larges (Bonjean et Picard, 1990). La tige ou chaume ne commence à prendre son caractère de tige qu'au début de la montaison. Celle-ci, d'abord pleine, devient creuse sauf au niveau des nœuds qui restent pleins (Clement-Grandcourt et Prat, 1970). Les feuilles sont alternées, ligulées et engainantes (Bonjean et Picard, 1990). Elles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (Clement-Grandcourt et Prat, 1970). L'inflorescence est toujours en épillets associés en inflorescence complexe, épis ou grappes d'épillets, se recouvrant étroitement les uns aux autres. La fécondation est autogame. Le fruit est un caryopse ou grain (Clement-Grandcourt et Prat, 1970; Bonjean et Picard, 1990). Les racines sont de type fasciculé peu développées ; 55 % du poids total des racines se trouve entre 0 et 25 cm de profondeur (Clement-Grandcourt et Prat, 1970).

La figure 01 illustre davantage la morphologie de blé.

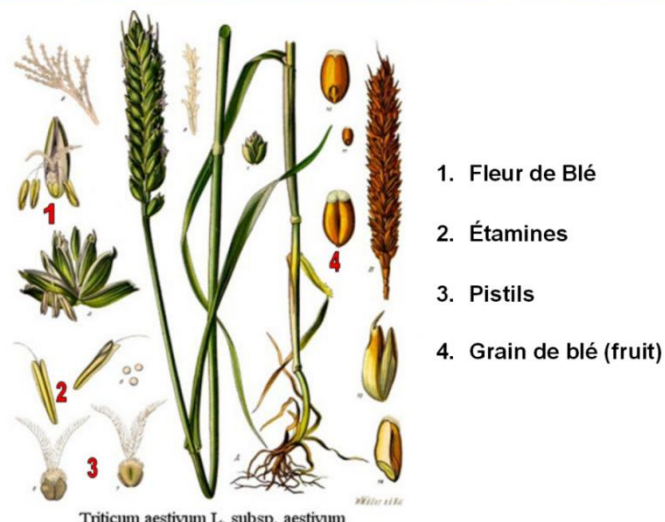


Figure 1 : Morphologie de blé (Jerome Gorgues, 2016).

### 1.5 . Structure de grain de céréale

Selon Cruz *et al.* (1992), les grains de céréales sont des fruits secs indéhiscents appelés caryopses qui ne contiennent qu'une graine (Fig. 02).

Ces organismes vivants sont de véritables plantes miniatures, protégées par des enveloppes et disposant de réserves pour se nourrir et se développer.

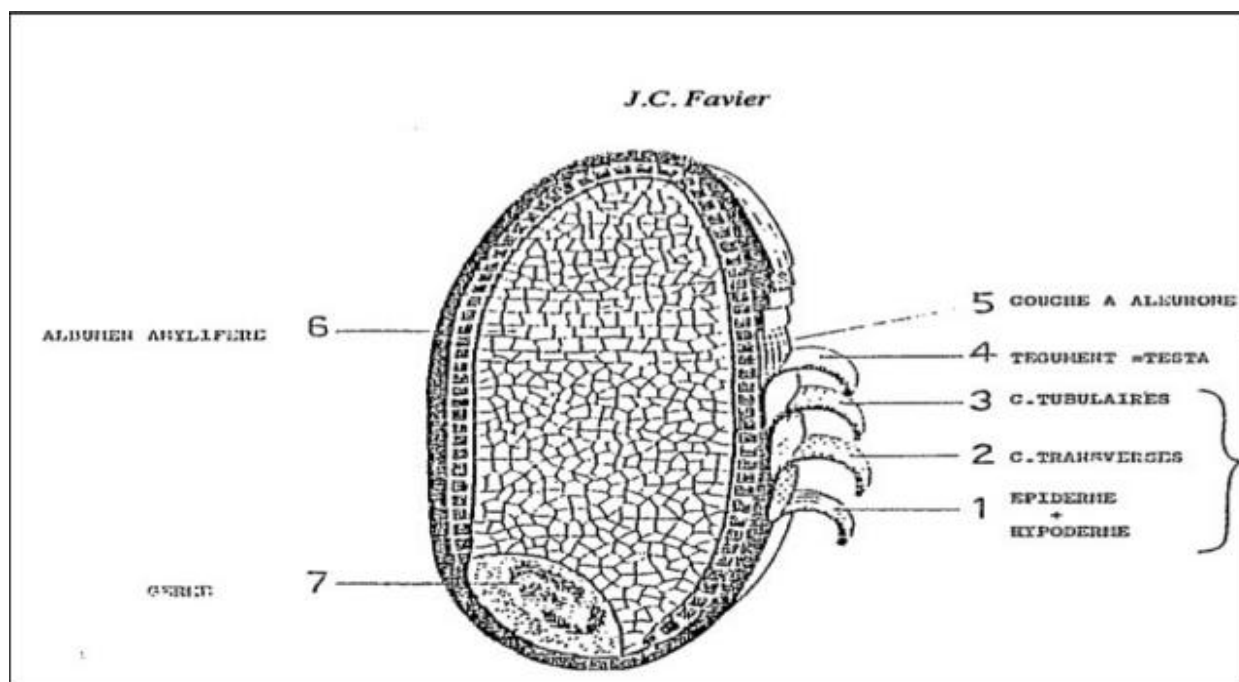


Figure 2: Structure des grains de céréales (Cruz *et al.*, 1992).

### 1.5.1 . Structure physique

Les grains sont constitués de trois parties : les enveloppes, l'albumen et le germe :

### 1.5.2 Enveloppes

Les grains de céréales sont protégés par une ou plusieurs enveloppes (Cruz *et al.*, 1992). Les couches externes du grain sont le péricarpe (dérivé de l'ovaire de la fleur) qui entoure le tégument (le testa) (McKevith, 2004). Pour certains grains, comme le sorgho, cette testa est parfois fortement pigmentée et contient des tannins. Lors de la transformation des grains, les enveloppes, qui représentent environ 8% du grain, donnent le son, substance riche en fibres, en minéraux, en vitamines et en protéines (Cruz, 1992).

### 1.5.3 Albumen

Classe spécifique de protéines relativement petites (Bender et Bender, 1999), céréales et représente 75 à 90% des grains.

Comme principal tissu de réserve, il est essentiellement constitué de granules d'amidons (Fig.03). Enchâssés dans un réseau protéique plus ou moins dense. La première couche cellulaire de l'albumen est l'assise protéique ou couche à aleurone, riche en protéines, en lipides et en minéraux (Cruz *et al.*, 1992).

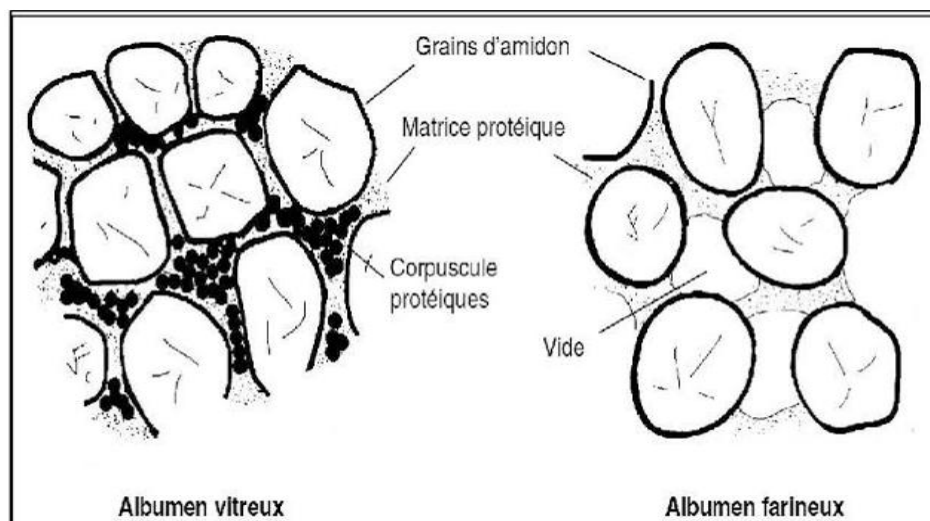


Figure 3 : Schéma de cellules de l'albumen (Cruz *et al.*, 2016).

### 1.5.4 Germe

L'embryon (ou germe) est une structure à paroi mince, contenant la nouvelle plante. (McKevith, 2004). Le germe des céréales est formé de la plantule et d'un seul cotylédon (plante monocotylédone). La plantule est une véritable plante miniature et le cotylédon appelé scutellum est un organe, riche en protéines, en lipides, en protéines, en minéraux et en vitamines, qui permet à la jeune plantule de puiser les réserves de l'albumen pour se développer. L'importance relative du germe par rapport au grain varie suivant les céréales. Les germes du blé et du riz sont petits alors que ceux du sorgho, du maïs ou du mil sont très gros (Fig.04) (Cruz *et al.*, 1992).

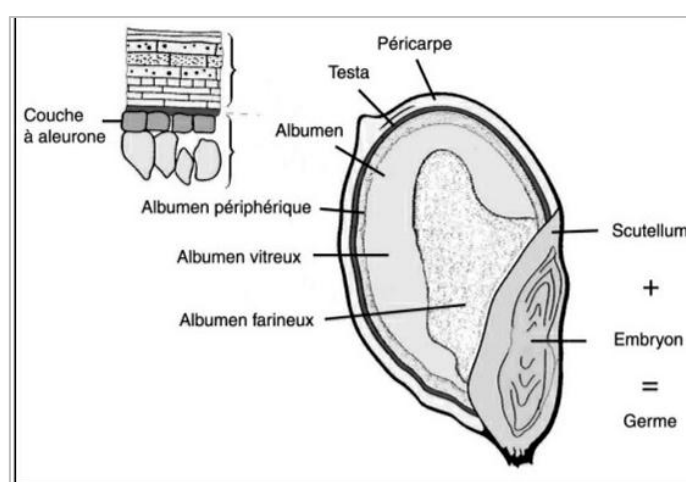


Figure 4 : Grain de sorgho (Miche, 1980).

### 1.6 Composition biochimique de grain de céréale

Selon Slimane (2008), pendant la maturité de la graine les substances de réserves sont accumulées soit dans le Cotylédon, soit dans le péricarpe. Ces substances sont principalement des métabolites qui assurent la nutrition de la plantule lors de la germination.

Les réserves de la graine comprennent essentiellement :

-Glucides 70 à 80 % : essentiellement de l'amidon ; du gluten associé à l'amidon; des hémicelluloses (des parois cellulaires); des sucres solubles et des protides.

-Protéines 9 à 15 % : essentiellement des protéines de réserves.

-Lipides 1,5 à 2 % : dont 60 % sont des lipides libres apolaires et 40 % sont des lipides polaires.

-Enzymes tels que : des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases, des protéases ainsi que des lipases et des lipoxygénases (Campion et Campion, 1995 ; Samson et Morel, 1995 ; Cherdouh, 1999).

### **1.7 Cycle de développement de blé**

Le cycle de développement est subdivisé en trois grandes phases. Chaque phase est divisée en différent stade (Fig.05) (Ben Zarrouk, 2012).

#### **1.7.1 Période végétative**

Elle comprend les stades suivants: germination, stade de semi-levée et levée- début du tallage.

##### **1.7.1.1 Phase de germination**

C'est la naissance d'une jeune plantule au dépend de la graine. Elle commence par l'imbibition de la graine qui permet la libération des enzymes et la dégradation des réserves assimilables par la graine suivie par la croissance caractérisée par l'allongement de la racicule (Vertucci, 1989).

##### **1.7.1.2 Phase semi-levée**

C'est la phase de germination et le début de la croissance.

##### **1.7.1.3 Phase levée - début du tallage**

Elle est caractérisée par les apparitions successives à l'extrémité de la coléoptile et les premières feuilles fonctionnelles imbriquées les unes dans les autres, partant toutes d'une même zone dite plateau du tallage. C'est la phase critique en cas d'attaque par les parasites et les ravageurs (Vertucci, 1989).

#### **1.7.2 Période reproductrice**

C'est la période de reproduction elle comprend trois stades :

##### **1.7.2.1 Phase Tallage herbacé-Gonflement**

Elle comprend l'initiation florale, la différenciation de l'ébauche de l'épi, la différenciation des ébauches des glumes, la montaison, la méiose et le gonflement.

### 1.7.2.2 Phase Epiaison-Floraison

Cette phase correspond à l'apparition des épis à l'extérieur, à la fécondation. La floraison consiste en l'éclatement des anthères qui libèrent le pollen ; les filets qui les portent s'allongent, ce qui entraîne à travers les glumelles entrouvertes, les sacs polliniques desséchés à l'extérieur et flottent alors tout autour de l'épi comme de petites fleurs blanches dont l'ensemble fait dire que « l'épi est fleuri » (Vertucci, 1989).

### 1.7.2.3 Maturation

Elle correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains, puis à leur perte d'humidité. Le grain va recevoir de l'amidon provenant de la photosynthèse dite nette et de la migration des réserves accumulées dans les feuilles et les tiges jaunissantes, mais non séchées.

Cette migration nécessite une circulation d'eau dans la plante. Si l'évapotranspiration est trop forte, la plante se dessèche brusquement, sans que les réserves aient eu le temps de migrer (Clement-Grandcourt et Prat, 1970).

#### 1.7.2.3.1. Phase pâteuse

La graine accumule fortement l'amidon dans son albumen. Tout déficit en eau entraîne à un excès d'évaporation et un ralentissement de la synthèse des réserves nécessaires à la formation du grain, ce qui se traduit par la formation de grains ridés de poids inférieur à la normale (phénomène d'échaudage) (Ben zarrouk, 2012).

#### 1.7.2.3.2. Phase de dessiccation

Elle correspond à la perte progressive de l'humidité du grain qui ne doit pas dépasser 15% au champ (Vertucci, 1989).

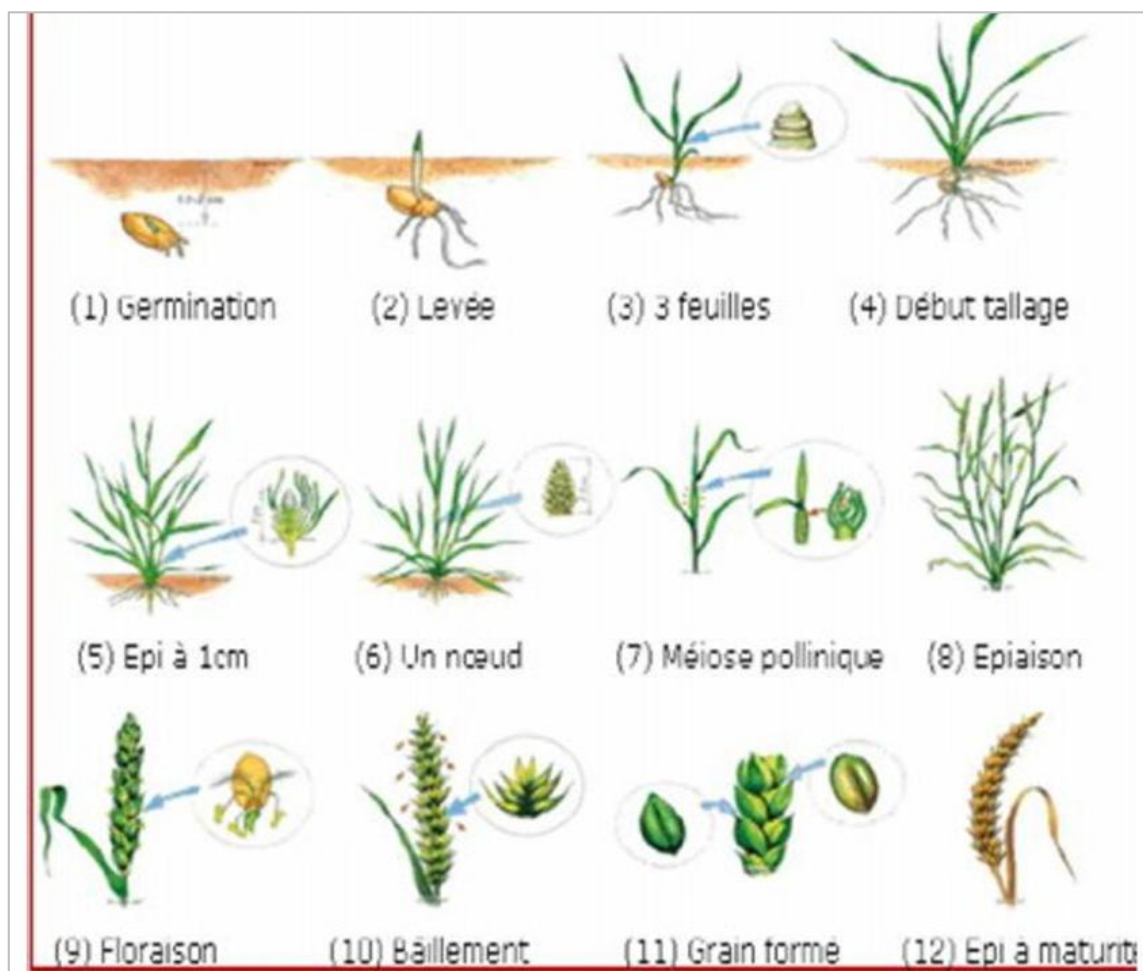


Figure 5 : Phases du cycle végétatif du blé (Soltner, 2005).

### 1.8 . Utilisation des céréales

#### 1.8.1 Alimentation humaine

Le blé et le riz sont quasi exclusivement destinés à l'alimentation humaine (Cruz *et al.*, 1992). Dans l'alimentation humaine les céréales sont utilisées sous divers formes : en grains, farine, semoule...etc.

Selon Sarwar *et al.* (2013), les céréales fournissent plus de nourriture pour la consommation humaine que toute autre culture. Généralement, quatre groupes divers des aliments préparés à partir des grains de céréales sont :

-Les produits de boulangerie, à base de farine ou de semoule, comprennent pains, viennoiseries, crêpes, biscuits et gâteaux, réduits céréaliers moulus riz poli, farina, farine de blé, semoule de maïs, homing, maïs gruau, orge perlé, semoule (pour les produits de macaroni),

- Les produits à grains entiers comprennent les flocons d'avoine, le riz brun, maïs soufflé, grains râpés et soufflés et petit-déjeuner aliments (Sarwar, 2008).

### 1.8.2 . Alimentation animale

Les céréales constituent le principal composant des aliments concentrés pour le bétail. Une forte proportion de la production mondiale de céréales est donc destinée à nourrir l'animal délavage, indique près de 40 % des céréales servent nourrir le bétail (Dubief, 2020), le maïs est très utilisé pour l'alimentation animale, notamment dans les pays occidentaux (Cruz *et al.*, 1992).

## 1.9 . Production des céréales

### 1.9.1 . Dans le monde

Les prévisions de la FAO concernant la production mondiale de céréales en 2021. Elles s'établissent à 2 799 millions de tonnes, soit 0,8 % de plus que le résultat de 2020.

Évaluée à 1 502 millions de tonnes, la production mondiale de céréales secondaires en 2021 est en hausse de 18,9 millions de tonnes sur une base annuelle, presque exclusivement en 709 millions d'hectares de céréales sont cultivés dans le monde, soit 51 % des terres arables, 14 % de la surface agricole mondiale et 5 % des terres émergées du monde (Dubief, 2020).

Selon FAO, (2022). La production mondiale de blé devrait atteindre 777 millions de tonnes, un niveau pratiquement identique à celui de 2020. En ce qui concerne le riz, augmentes les rendements annoncés, compte tenu des conditions météorologiques généralement favorables qui ont prédominé pendant la campagne.

En 2028, la production totale de céréales dans le reste du monde serait 2,3 fois plus élevée qu'en 1990, le rythme de cette hausse diminuant toutefois beaucoup moins que dans les pays développés d'une décennie à l'autre. Ainsi, les hausses ont atteint de 30 % entre 1990 et 2000, 25 % entre 2000 et 2010, et 26 % entre 2010 et 2018 (en huit ans), et elle serait de 16 % entre 2018 et 2028, sans distinction notable entre les quatre types d'utilisation (Jodoin, 2019).

La figure 06 illustre davantage l'évolution de la production céréalière, l'utilisation et le stock dans le monde de 2011 à 2022.



Figure 6 : Production céréalière, utilisation et stocks dans le monde de 2011 à 2022 (FAO, 2022).

### 1.9.2 En Algérie

En Algérie la filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole (Djermoun, 2009).

Les principales régions de céréales en Algérie, selon les facteurs des précipitations pluviométriques, sont :

- Une région à haut potentiel de production dans le nord de l'Atlas Tellien (Mitidja, Kabylie, vallée du Seybouse, vallée de la Soummam...) qui couvre 0,4 million d'ha de la SAU, avec une pluviométrie qui dépasse les 500 mm/an.

- Une région à moyenne potentialité vers l'ouest du pays, caractérisée par un climat semi-aride et une pluviosité entre 400 et 500 mm/an (massif de Médéa, coteaux de Tlemcen, vallée de Chélif,..).

-Une région à basses potentialités située dans les Hauts plateaux allant du l'est vers l'ouest (massif des Aurès, plaines d'Annaba, Constantine,...) avec une moyenne de précipitations de moins de 350 mm/an (Chehat, 2005 ; Chaban et Boussard, 2020).

En Algérie, « la production céréalière totale en 2021 est estimée à 3,5 millions de tonnes, ce qui est inférieur à la moyenne quinquennale et environ 38 % de moins que l'année précédente ». La production annuelle était d'environ 4,92 millions de tonnes, dont 3,3 millions de tonnes de blé (Assoko, 2022).

La FAO prévoit un recul de 38% de la récolte céréalière en Algérie en 2021 par rapport à l'année précédente. Le rendement de la production céréalière de l'Algérie a été notamment impacté par la faible pluviométrie (Benali, 2021).

### **1.10. Impact des céréales**

#### **1.10.1 . Impact économique**

##### **1.10.1.1 Contribution au PIB**

Les céréales contribuent de manière significative au produit intérieur brut (PIB) de nombreux pays. En 2020, la production mondiale de céréales a atteint 2,7 milliards de tonnes, avec une valeur estimée à 560 milliards de dollars .

##### **1.10.1.2 . Emploi**

La culture et la transformation des céréales génèrent des millions d'emplois à travers le monde. On estime que le secteur céréalier emploie environ 1,4 milliard de personnes, soit environ 20% de la main-d'œuvre agricole mondiale (Cassman ,1999).

##### **1.10.1.3 . Commerce international**

Les céréales font l'objet d'un commerce international important. En 2020, le commerce mondial de céréales a atteint 447 millions de tonnes, représentant une valeur de 126 milliards de dollars (FOA,2020).

##### **1.10.1.4 Volatilité des prix**

Les prix des céréales peuvent être volatils, ce qui affecte la sécurité alimentaire et les revenus des agriculteurs. La volatilité est causée par divers facteurs, tels que les conditions météorologiques, les changements de politique et la spéculation (Cassman ,1999).

### 1.10.2 . Impact agricole

#### 1.10.2.1 Utilisation des terres

Les céréales occupent une grande partie des terres arables du monde. En 2020, environ 46% des terres arables étaient consacrées à la production de céréales (FOA ,2020).

#### 1.10.2.2 . Intrants agricoles

La production de céréales nécessite des intrants agricoles tels que les engrais, les pesticides et l'eau. L'utilisation excessive de ces intrants peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement (Begcy et Dresselhaus, 2018).

#### 1.10.2.3 Changement climatique

Le changement climatique affecte la production de céréales, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Les sécheresses, les inondations et les températures extrêmes peuvent réduire les rendements et menacer la sécurité alimentaire (Begcy et Dresselhaus, 2018)

### 1.10.3 Impact sur la sécurité alimentaire

#### 1.10.3.1 Lutte contre la faim

Les céréales contribuent à la lutte contre la faim en fournissant une source d'énergie et de nutriments à des milliards de personnes.

#### 1.10.3.2 Malnutrition

La malnutrition, causée par une carence en nutriments, affecte encore de nombreuses personnes dans le monde. Les céréales enrichies peuvent contribuer à combler les carences en micronutriments (FAO, 2022).

#### 1.10.3.3 Accès à la nourriture

L'accès à la nourriture est un défi majeur pour de nombreuses populations. La volatilité des prix des céréales peut rendre l'accès à la nourriture difficile pour les populations les plus vulnérables (OCDE/FAO, 2021).

## 1.11 Politiques gouvernementales

### 1.11.1 Soutien aux agriculteurs

Les gouvernements soutiennent souvent les agriculteurs céréaliers par des subventions, des programmes de garantie des prix et d'autres mesures (Bekkis et Benmehaia, 2023).

### 1.11.2 Promotion du commerce

Les gouvernements négocient des accords commerciaux pour faciliter le commerce des céréales et améliorer l'accès aux marchés (Bekkis et Benmehaia, 2023).

### 1.11.3 . Gestion des stocks

Les gouvernements gèrent des stocks de céréales pour stabiliser les prix et garantir la sécurité alimentaire en cas de crise (Bekkis et Benmehaia, 2023).

## 1.12 Exigences pédo-climatiques des céréales

### 1.12.1 Climat

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

#### 1.12.1.2 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).

### 1.12.2 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).

### 1.12.3 L'éclairement

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

### 1.12.4 . Le sol

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

### 1.12.5 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).

## 1.13 Contraintes de développement de la céréaliculture

### 1.13.1 Contraintes climatiques

#### 1.13.1.1 Le stress thermique

Dans les zones arides et semi-arides d'altitude, le stress thermique peut intervenir même en début du cycle. L'effet des hautes températures au semis se manifeste par une réduction de la longueur de la coléoptile (Hazmoune, 2000). Wardlawetal (1989) montrent que la température optimale pour le développement et le remplissage du grain varie de 12 à 15 °C pour de nombreux génotypes de céréale à paille. Ils observent une diminution de 3 à 5 % du poids du grain pour chaque degré d'augmentation de la température à partir de la base de 12 à 15°C.

Dans l'écart des moyennes de températures de 12 à 15 °C, une réduction de la durée de remplissage est compensée par une augmentation du taux de remplissage, avec pour effet peu de variation du poids moyen du grain (Wardlaw *et al.*, 1989). L'altitude et un climat de type méditerranéen imposent un hiver très froid et pluvieux, le froid hivernal limite la croissance au moment où l'eau est disponible et allonge le cycle de la plante pour l'exposer à la sécheresse du début de l'été (Chenaffi *et al.*, 2006). Les dégâts de gel tardif sont très fréquents sur céréales, rendant l'adoption des variétés précoces trop risquée (Bouzerzour et Benmahammed, 1994). L'adoption de la stratégie de l'esquive comme moyen pour échapper au stress thermique de fin de cycle, est peu opérante dans le cas où les génotypes précoces sélectionnés ne sont pas génétiquement résistants au froid (Mekhlouf *et al.*, 2006).

### 1.13.1.2 . Le stress hydrique

C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer, 1982). En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (Madhava Rao *et al.*, 2006). Les conséquences du stress hydrique sur le blé dur sont la réduction de la surface foliaire, une diminution de l'intégrité cellulaire et de la teneur relative en eau.

### 1.13.1.3 Les contraintes pédo-édaphiques

Selon Kribaa (2003), les contraintes édaphiques des zones de culture de blé dur agissent par une profondeur du sol réduite par des accumulations calcaires dures, limitant la réserve hydrique et le développement racinaire. Elles agissent également par l'état structural de l'horizon de surface qui détermine en grande partie le fonctionnement hydrique du sol. Les caractéristiques chimiques, biochimiques et biologiques du sol peuvent constituer également des contraintes.

### 1.13.2 . Maladies et parasites

Les principales maladies et parasites des céréales sont :

#### 1.13.2.1 . Maladies

##### 1.13.2.1.1 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).

##### 1.13.2.1.2 . 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).

##### 1.13.2.1.3 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).

### 1.13.2.1.4 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).

### 1.13.2.1.5 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).

### 1.13.2.1.6 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).

Tableau 2 : Maladies qui impactent les céréales (Julie Breault, 2009).

Maladie	Cultures touchées		
	Blé	Orge	Avoine
<b>Maladies des racines et du collet</b>			
– Fonte des semis ( <i>Fusarium</i> spp., <i>Bipolaris sorokiniana</i> et autres)	•	•	•
– Piétin brun ( <i>Pythium</i> spp.)	•	•	○
– Piétin commun ( <i>Bipolaris sorokiniana</i> et <i>Fusarium</i> spp.)	•	•	○
– Piétin fusarien ( <i>Fusarium</i> spp.)	•	•	•
– Piétin-échaudage ( <i>Gaeumannomyces graminis</i> )	•		
<b>Maladies foliaires</b>			
– Taches foliaires			
→ Tache helminthosporienne ( <i>Bipolaris sorokiniana</i> )	•	•	
→ Tache bronzée ou auréolée ( <i>Drechslera tritici-repentis</i> )	•		
→ Moucheture ou stagonosporose ( <i>Stagonospora nodorum</i> )	•		
→ Tache septorienne ( <i>Septoria tritici</i> )	•		
→ Rayure réticulée ( <i>Drechslera teres</i> )		•	
→ Rhynchosporiose ( <i>Rhynchosporium secalis</i> )		•	
→ Tache ovoïde ( <i>Stagonospora avenae</i> )			•
– Jaunisse nanissante (virus)	•	•	•
– Oïdium ou blanc	•	•	
– Rouille des feuilles ou rouille brune	•	•	
– Rouille couronnée			•
<b>Maladies des inflorescences</b>			
– Charbon nu	•	•	•
– Ergot	•	•	
– Fusariose des inflorescences	•	•	•
– Tache des glumes ( <i>Stagonospora nodorum</i> )	•		
• : principale(s) culture(s) affectée(s)                      ○ : culture affectée occasionnellement			

### 1.13.2.2 . 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).

### 1.13.2.3 Ravageurs

#### 1.13.2.3.1 . 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).

### 1.13.2.3.2 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).

### 1.13.2.3.3 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).

**Chapitre II :**  
**Généralités sur les**  
**nématodes à kyste des**  
**céréales du genre *Heterodera***

## Chapitre II :

### Généralités sur les nématodes à kyste des céréales du genre *Heterodera*

#### 1.14 Position systématique

Le nématode de kyste des céréales (NKC) est représenté par un groupe de 12 espèces qui infestent les céréales et les graminées sauvages. Selon Handoo (2002) et Subbotin *et al.* (2003), ces espèces sont :

*H. avenae* Wollenweber, 1924

*H. latipons* Franklin, 1969

*H. filipjevi* (Madzhidov, 1981) Stone, 1985

*H. Mani* Mathews, 1971

*H. bifenestra* Cooper, 1955

*H. hordecalis* Andersson, 1975

*H. arenaria* Cooper, 1955

*H. iri* Mathews, 1971

*H. aucklandica* Wouts, 1995

*H. turcomanica* Kirjanova and Shagalina, 1965

*H. spinicauda* Wouts, Schoemaker, Sturhan and Burrows, 1995

*H. pratensis* Gäbler, Sturhan, Subbotin and Rumpfenhorst, 2000

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 Reddy (1983), *H. avenae* occupe la position systématique suivante :

Règne : Animal

Sous Règne : Métazoaires

Embranchement : Némathelminthes

Sous Embranchement : Nématodes

Classe : Nematoda

Sous Classe : Secernentea

Ordre : Tylenchida

Sous Ordre : Tylenchida

Super Famille : Heteroderoïdea

Famille : Heteroderidae

Sous Famille : Heteroderinae

Genre : *Heterodera*

Espèce : *Heterodera avenae* (Wollenweber, 1924).

### 1.15. Morphologie

Solon Rivoal *et al.*, (1978 ), *Heterodera* présente un dimorphisme sexuel prononcé à l'état adulte. D'après Williams et Siddiqi (1972), les oeufs d' *Heterodera* 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'indentifications (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).

### 1.16 Les œufs

Les œufs (Fig. 07) sont renfermés dans le corps de la femelle adulte transformée en kyste. Ils sont hyalins, lisses et de forme ovale (Volvas, 1985). Leur longueur est de 126 µm et leur largeur est de 56 µm (Williams et Siddiqi, 1972).

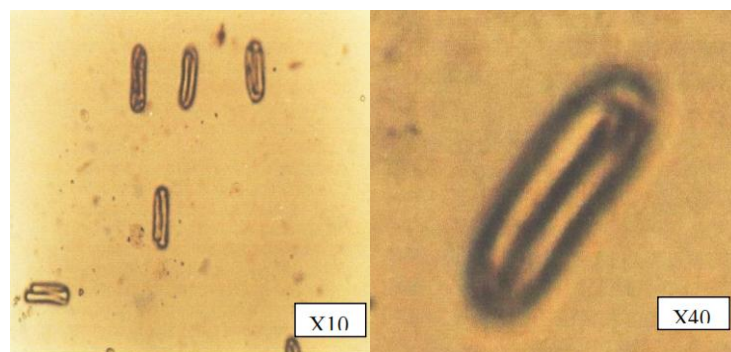


Figure 7 : Œufs embryonnés d'*Heterodera avenae* (Williams et Siddiqi, 1972).

### 1.16.1 . Les larves

#### 1.16.1.1Les larves du 1er stade (L1)

Les larves du premier stade (L1) sont contenues dans l'œuf. Elles sont pliées en quatre (Williams et Siddiqi, 1972).

#### 1.16.1.2Les larves du 2ème stade (L2)

Les larves du second stade (L2) représentent le stade infestant (Person- Dedryver, 1989 ; Rivoal *et al.*, 1990). Elles sont vermiformes avec une queue très effilée, comportant une portion terminale hyaline de 35 à 45 µm de long à leur partie postérieure (Fig. 08). Elles sont munies à leur partie antérieure d'un stylet buccal très puissant (Fig. 09) (Williams et Siddiqi, 1972).

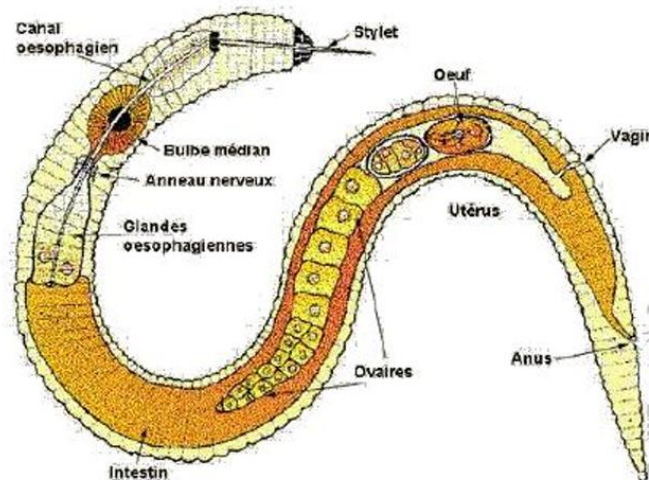


Figure 8 : Morphologie générale d'un nématode phytophage (Esser, 1971).

#### 1.16.1.3Les larves du 3ème stade (L3)

Les larves du troisième stade (L3) sont gonflées et sédentaires avec une queue courte à la partie postérieure et un stylet buccal à la partie antérieure (Fig. 10).

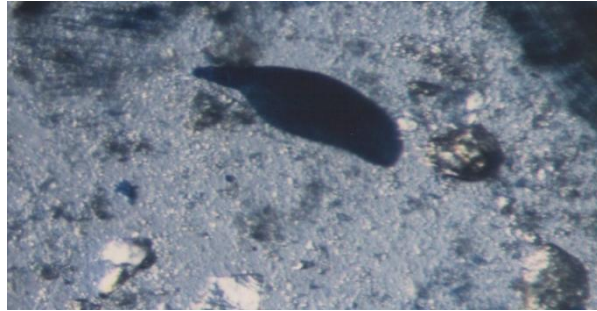


Figure 9 : Larve du 3ème stade (L3) d'*Heterodera avenae*

#### 1.16.1.4. Les larves du 4ème stade (L4)

Les larves du quatrième stade (L4) ont les mêmes caractéristiques que les larves du troisième stade, avec un anus terminal (Fig. 11) (Williams et Siddiqi ,1972).

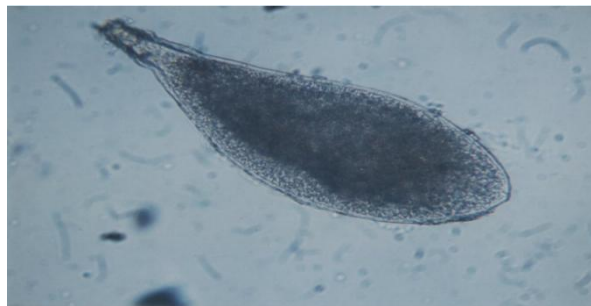


Figure 10 : Larve du 4ème stade (L4) d'*Heterodera avenae* (Williams et Siddiqi ,1972).

#### 1.16.2. Le mâle

Le mâle est filiforme, mobile et migrateur. Il mesure 1,5 mm (Rivoal, 1978) et possède une paire de spicules , d'une longueur de 35 à 36  $\mu\text{m}$  , qui jouent un rôle lors de la copulation (Shepherd *et al.*, 1973) .

#### 1.16.3 La femelle :

La femelle est sédentaire, globuleuse, sphérique ou citriforme d'environ 0,5 mm à 0,8 mm de longueur et 0,4 à 0,6 mm de largeur de diamètre (Fig. 11) (Williams et Siddiqi, 1972 ; Rivoal, 1978 ; Rivoal et Cook, 1993) .

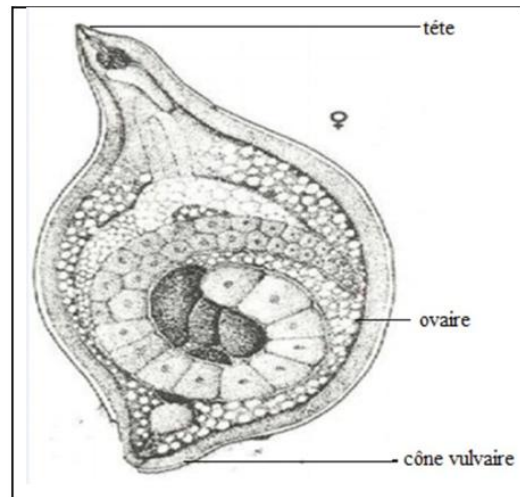


Figure 11 : Femelle blanche sur racine d'*H. avenae* (Razki ,1950).

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). La femelle meurt après la fécondation et la ponte, puis se transforme en un kyste brun bourré d'œufs (Schneider, 1965).

#### 1.16.4 Le kyste

Le kyste est le corps de la femelle adulte dont la cuticule subit un tannage quelques semaines après sa mort, puis durcit (De Guiran, 1983). Le kyste est citriforme, de couleur brun foncé (Fig. 13) (Choppin De Janvry, 1971). La forme, la taille et la couleur du kyste varient d'une population à l'autre (Mokabli, 2002). Il est généralement citriforme, sa largeur s'étale de 412 à 555  $\mu\text{m}$  et sa longueur varie de 618  $\mu\text{m}$  jusqu'à 823  $\mu\text{m}$ , de couleur brun foncé (Rivoal, 1973 ; Reddy, 1983 ; Rivoal et Sarr, 1983 ; Volvas, 1985 ; Mokabli, 2002). Le kyste contient en moyenne 200 à 250 œufs, mais les kystes les plus larges peuvent contenir plus de 600 œufs (Williams et Siddiqi, 1972).

Du point de vue biochimique, l'enkystement est une oxydation des polyphénols de la cuticule de la femelle adulte, sous l'action d'une enzyme appelée polyphénoloxydase. Cette oxydation est nécessaire à la stabilisation du collagène souple durant la croissance de l'organisme afin qu'il puisse persister très longtemps dans le sol (Shepherd *et al.*, 1972) en l'absence de la plante hôte. Cette longévité peut aller de 5 à 10 ans (Sacristan *et al.*, 1983).

Le kyste ainsi formé est couvert par une couche subcristalline, de nature cireuse mais perméable qui lui permet de supporter les conditions adverses (Brown *et al.*, 1971).

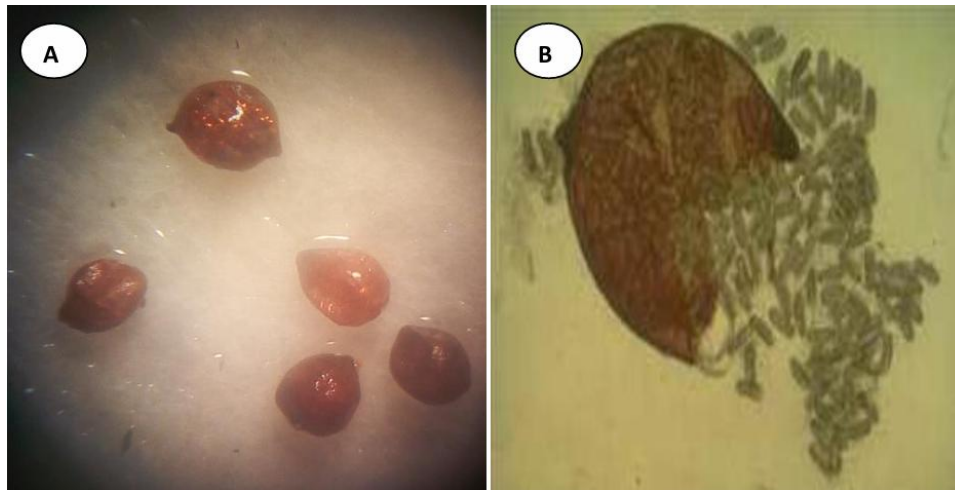


Figure 12 : Kyste plein (A), kyste écrasé (B) montrant les oeufs de nématode à kystes *H. avenae* des céréales (Hodda et Lawrence, 2009).

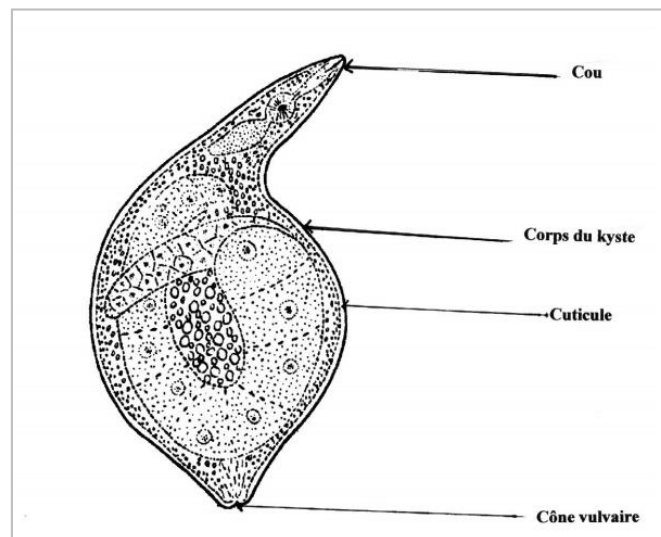


Figure 13 : La forme de kyste d'*Heteroera*.

### 1.17 II.3. Le cycle biologique d'*Heterodera avenae*

Le cycle de développement d' *H. avenae* comporte cinq stades (Tableau 03).

Tableau 3 : La durée du cycle de développement d' *H. avenae* (Sosamoss ,1966).

	Stade de développement	Durée de stade
Intervalle commun	Zygote → Gastrulation	7 à 8 jours
	Gastrulation → 1 <sup>er</sup> mue	6 à 7 jours
	1 <sup>er</sup> mue → diapause	Temps indéterminé (plusieurs mois ou moins)
	2 <sup>eme</sup> stade → 2 <sup>eme</sup> mue	5 à 7 jours
Mâle	2 <sup>eme</sup> à la 3 <sup>eme</sup> mue	6 à 9 jours
	Métamorphose (stade pré adulte)	10 jours
	Mâle adulte	7 à 10 jours
Femelle	2 <sup>eme</sup> à la 3 <sup>eme</sup> mue	13 à 16 jours
	3 <sup>eme</sup> à la 4 <sup>eme</sup> mue	6 à 8 jours
	De la jeune femelle au kyste	45 à 60 jours

*H. avenae* est caractérisé par la formation de kystes qui sont le corps de la femelle adulte bourré d'œufs. Après la mort, celle -ci se transforme en coque protectrice brune extrêmement résistante aux agents de destruction. Les kystes contiennent des œufs pouvant rester viables pendant de nombreuses années (5 à 10 ans) (Sosa moss, 1966 ; Taupin, 1987).

Ce kyste contient plusieurs centaines de larves (juvéniles) qui y sont protégées. Leurs sorties dépendent de l'humidité du sol et de la température (Rivoal et Bourdon, 2005). Ces juvéniles au deuxième stade de leurs développement envahissent les céréales au niveau de l'apex des racines puis migrent et se fixent près du cylindre central pour s'alimenter (Fig. 15).

Là, elles vont subir trois mues pour aboutir soit à un mâle filiforme de 2mm de long soit à une femelle blanche en forme de citron de 0,5 mm de diamètre, la fécondation est obligatoire.

Selon Berge *et al.* (1981), *H. avenae* est une espèce « amphimixique », dont les mâles fécondent les femelles. Une larve peut donner une femelle mais celle-ci demeure vide d'œufs si elle n'est pas fécondée. Dans les conditions naturelles, une femelle peut être fécondée par plusieurs mâles, de même un mâle peut féconder plusieurs femelles (Dalmasso *et al.*, 1982). Les accouplements se font en général de manière aléatoire avec un faible risque de consanguinité (Bossis et Rivoal, 1989).

La femelle blanche quitte les cellules végétales, sa paroi durcit et bruni pour donner le kyste brun contenant la descendance en larves qui se détachent des racines. A l'intérieur des œufs, les larves se développent jusqu'au deuxième stade et quelques-unes éclosent de sorte que les kystes d'*H. avenae* contiennent presque toujours, à la fois des œufs et quelques larves. Ces

kystes peuvent contenir de 200 à 600 œufs dans les cas extrêmes (Vallotton, 1976). Cette espèce produit une seule génération par an.

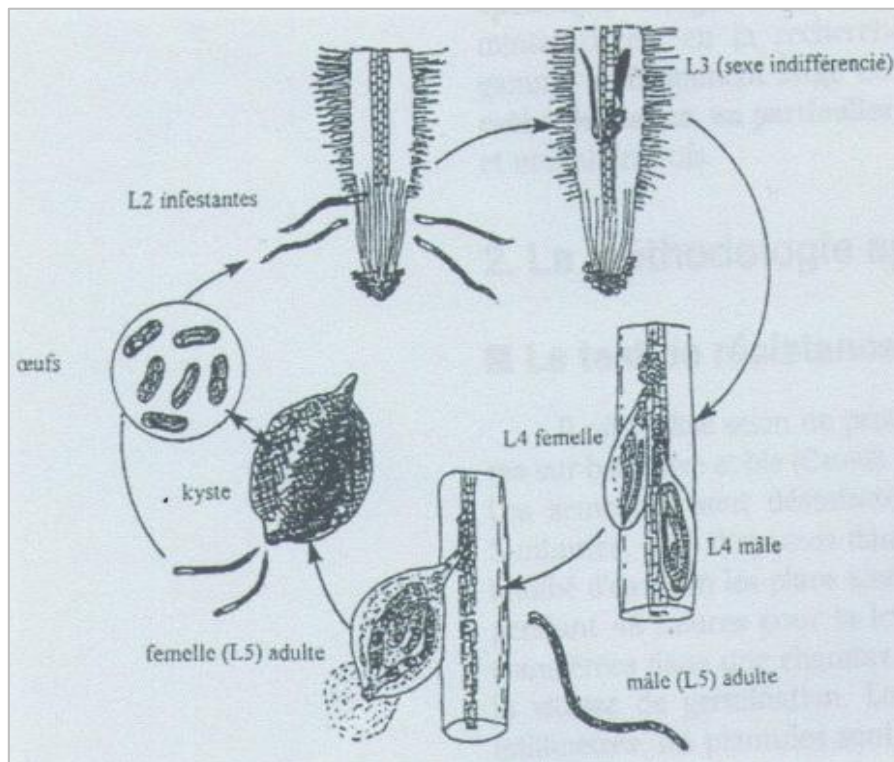


Figure 14 : Cycle biologiques d' *H. avenae* (Rivoal et Bourdon, 2005).

#### 1.18II.4. Facteurs favorables au développement d'*H. avenae*

##### II.4.1. Les facteurs abiotiques

##### II.4.1. 1. Les facteurs climatiques

##### II.4.1. 1.1. L'humidité

Les successions des périodes humides favorisent les pénétrations des larves de ces ravageurs. Les attaques d'*H. avenae* coïncident avec les périodes pluvieuses. Ces dernières présentent les périodes printanières et automnales (Scotto La Massese, 1986). 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).

##### II.4.1. 1.2. La température

La température a un rôle prédominant dans le développement d'*H. avenae*. Ce dernier a des exigences thermiques très variables (Fushtey et Johnson, 1966 ; Banyer et Fisher, 1971).

D'après Rivoal et Ireholm (1990) ; Smaha (1998) et Mokabli *et al.* (2001), les basses températures stimulent l'éclosion et le développement des larves, alors que les hautes températures les inhibent.

En Algérie, d'après Mokabli *et al.* (2001), Hamroun (2006) et Smaha *et al.* (2009), la température optimale pour l'évolution de ce parasite s'étale de 7 à 25°C. Deux écotypes sont détectés selon les intensités d'éclosion (Rivoal et Ireholm, 1990). D'après Caubel *et al.* (1980), la différence observée au niveau des taux annuel de sorties larvaires, les kystes des populations méridionales ne libèrent que 30% du contenu larvaire, alors que les kystes de populations septentrionales les sorties larvaires sont très élevées, 60% du contenu larvaire.

Ces deux écotypes sont différents également au niveau du nombre du cycle annuel d'éclosion, quatre cycles de sorties larvaires sont possibles pour l'écotype méridional, et deux cycles chez l'écotype septentrional (Rivoal *et al.*, 1985).

Selon Rivoal et Ireholm (1990), les pourcentages d'éclosion des larves d'*Heterodera avenae* sont échelonnés dans le temps et peuvent durer plusieurs années.

Un écotype traduit l'adaptation de certaines races à des écosystèmes particuliers (Caubel *et al.*, 1980). Cette adaptation se caractérise par un décalage dans le cycle d'éclosion, conséquent à une différence de diapause (Rivoal *et al.*, 1985 ; Zancada et Sanchez, 1989).

Actuellement, il existe deux écotypes : un écotype inféodé aux régions à climat méditerranéen (écotype méridional) et un autre sévit dans les régions à climat océanique plus ou moins tempéré (écotype septentrional) (Valdeolivas *et al.*, 1991).

L'écotype méridional présente une activité hivernale par suite de la levée d'une diapause estivale. Cet écotype est présent chez les populations du sud de la France (Rivoal *et al.*, 1985).

Ainsi, cet écotype est présent chez les populations de l'Espagne (Valdeolivas *et al.*, 1991), également au sud de l'Australie, (Meagher, 1970 in Zancada et Sanchez, 1989), et les populations algériennes (Smaha, 1998; Mokabli, 2002 et Hamroun, 2006).

Des larves de second stade (L2) d'*H. avenae* et leur émergence ont fait l'objet de plusieurs travaux, aussi bien au laboratoire qu'en conditions naturelles (plein champ).

Au Canada et dans les pays de l'Europe du nord, l'émergence de juvéniles commence lorsque les températures atteignent 15 à 20 °C (Fushtey et Johnson, 1966).

En France Rivoal (1986 a) a montré que l'optimum thermique de l'éclosion se situe entre 10 et 15°C pour l'écotype septentrional et 5°C pour l'écotype méridional.

D'après Rivoal et Ireholm (1990), l'éclosion des populations *H. avenae* coïncident avec les basses températures.

#### **II.4.1. 2. Les facteurs édaphiques**

##### **II.4.1. 2.1. Type de sol**

D'après Caubel *et al.* (1980), *H. avenae* se rencontre sur tous les types de sol, mais les sols légers sont les plus favorables (Sturhan, 1982), tandis que les sols lourds permettraient aux cultures de mieux supporter les attaques d'*H. avenae* (Choppin De Janvry, 1971). D'après Trigiano *et al.* (2004), la texture et la structure du sol sont d'importance primaire en déterminant le nombre et le type de nématode.

##### **II.4.1. 2.2. La porosité**

Selon Rivoal et Riviere (1989), la porosité favorise le déplacement d'*H. avenae* vers les horizons profonds où ils constituent un potentiel infectieux assurant ainsi la pérennité du parasite.

##### **II.4.1. 2.3. L'oxygène**

L'absence d'air dans les sols inondés et dans les sols lourds limite le développement d'*H. avenae* (Cayrol, 1975).

#### **II.4.2. Les facteurs biotiques**

##### **II.4.2.1. Les monocultures**

La pullulation d'*H. avenae* est souvent favorisée par les cultures céréalières intensives, qui favorisent le retour des céréales sur la même parcelle (Caubel *et al.*, 1980 ; Rivoal *et al.*, 1985).

##### **II.4.2.2. La fertilisation**

Toute fertilisation qui met la plante dans de bonnes conditions de développement favorise la multiplication du parasite (Caubel *et al.*, 1980).

#### **II.4.2.3. La matière organique**

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 (Jones, 1982).

#### **II.4.2.4. La plante hôte**

Selon Caubel *et al.* (1980), dans une parcelle où les céréales à paille reviennent régulièrement, la pullulation des nématodes est favorisée.

#### **II.4.2.5. Les pesticides**

Certains herbicides sélectifs appliqués en cultures céréalières aboutissent à la sélection d'une certaine flore qui constitue un bon hôte pour *H. avenae* (Caubel *et al.*, 1980).

### **1.19 II.5. Symptomatologie**

Selon Esmenjaud *et al.* (1987), l'examen des racines coralliformes facilite le diagnostic d'une attaque par *H. avenae*.

#### **II.5.1. Symptômes en plein champ**

Une parcelle infestée par *H. avenae* présente des taches claires où poussent des plants chétifs et rabougris (Williams et Siddiqi, 1972 ; Reddy, 1983 ; Person-Dedryver, 1989). Ces taches confèrent à la culture un aspect hétérogène et sont aussitôt envahies par les mauvaises herbes (De Guiran, 1983 ; Sacristan *et al.*, 1983).

#### **II.5.2. Symptômes sur la plante**

##### **II.5.2.1. Symptômes sur la partie aérienne**

Ils ne sont pas spécifiques et résultent d'un mauvais fonctionnement du système racinaire, rendu inapte à nourrir convenablement la plante. On peut noter :

##### **II.5.2.1.1. Un rabougrissement**

La céréale attaquée reste naine suite à un ralentissement de la croissance au niveau de la tige, (Reddy, 1983 ; Rivoal *et al.*, 1990).

#### II.5.2.1.2. Une décoloration du feuillage

Les feuilles des plants attaqués se décolorent puis prennent une couleur rougeâtre caractéristique (Williams et Siddiqi, 1972 ; Sacristan *et al.*, 1983 ; Rivoal et Cook, 1993).



Figure 15 : Aspect hétérogène d'une parcelle de céréales (Smiley et Nicol, 2009).

#### II.5.2.2. Symptômes sur la partie racinaire

C'est à ce niveau que le symptôme le plus typique est observé. La pénétration des larves infestantes du second stade (L2) se fait en arrière du point végétatif, (Williams et Siddiqi, 1972 ; Person et Doussinault, 1978 ; Sacristan *et al.*, 1983 et Mor *et al.*, 1992).

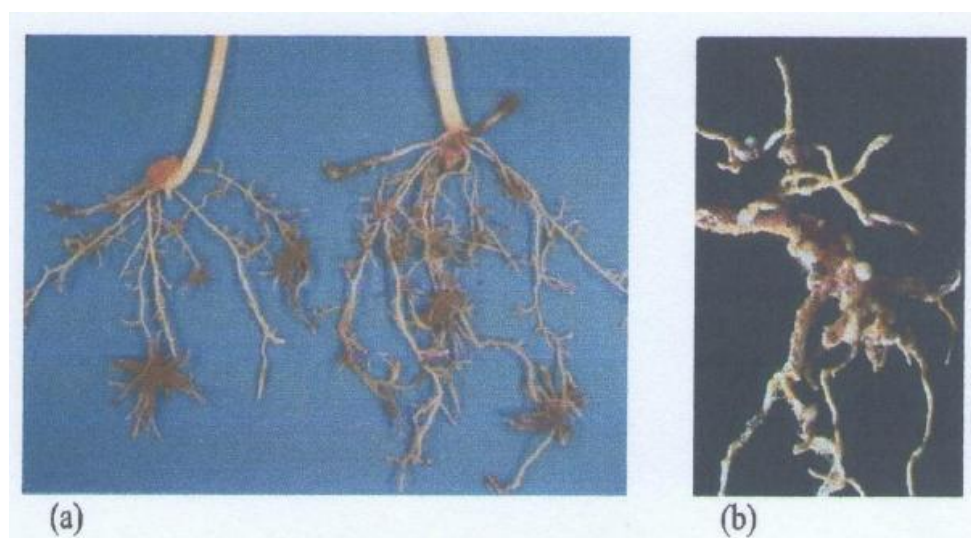


Figure 16 : Aspect coralliforme sur racine de céréale (Smiley et Nicol, 2009).

Le système racinaire de la plante ainsi attaqué est généralement peu profond et qualifié de coralliforme, à cause d'un nombre anormalement abondant de radicelles (Ritter, 1965 a ; Caubel et Rivoal, 1972 ; Esmenjaud *et al.*, 1987).

Un tel système racinaire est facilement arraché du sol, avec une quantité énorme de terre qui lui adhère (De Guiran, 1983 ; Mor *et al.*, 1992) et des kystes à la surface (Choppin De Janvry, 1971).

Ces nématodes peuvent créer des portes d'entrée pour d'autres agents pathogènes, tel que le champignon *Rhizoctonia solani* (Meagher, 1974).

#### **1.20II.6. Les facteurs de dissémination**

Les vents constituent le principal facteur de dissémination des kystes, mais les opérations culturales, les outils de travail du sol et l'eau d'irrigation peuvent aussi contribuer à la dissémination de ce parasite (Meagher, 1977).

##### **II.6.1. L'homme**

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

### **II.6.2. Le matériel**

Le matériel agricole joue un rôle important dans la dissémination des nématodes à kystes comme le genre *Heterodera*. Les mottes de sol contenant des kystes sont transportées par le matériel agricole. Ces derniers constituent un mode de propagation de ce nématode. Les kystes sont transportés par le matériel à travers les champs.

### **II.6.3. Le vent**

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

### **II.6.4. 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 *H. avenae* (Mokabli com. Personnelle).

## **1.21 II.7. La lutte contre *H. avenae***

La lutte contre *H. avenae* est difficile vu la longue durée de vie des kystes dans le sol, même en absence des plantes hôtes (Sacristan *et al.*, 1983). La mise au point d'un programme de lutte contre ce parasite doit mettre en œuvre un ensemble de mesures préventives et curatives pour mieux protéger les cultures de céréales.

### **II.7.1. Mesures préventives**

La lutte contre le nématode doit commencer avant son installation dans le champ, en maintenant les parcelles indemnes et propres, en prévenant la dissémination par les outils de travail et les eaux d'irrigation (Reddy, 1983 ; Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991).

Les instruments de travail du sol utilisés doivent être soigneusement nettoyés avant leur usage dans d'autres parcelles non infestées. Ces mesures ne sont pas suffisantes en elles mêmes, mais elles constituent un complément indispensable de moyens plus efficaces (De Guiran, 1983).

### **II.7.2. Mesures curatives**

Ce sont essentiellement des méthodes culturales, chimiques et biologiques.

### **II.7.2.1. Méthodes culturales**

#### **II.7.2.1.1. Le désherbage**

La destruction des mauvaises herbes et des résidus des cultures céréalières est indispensable (De Guiran, 1983). Une telle opération doit être soignée, puisqu'elle permet de supprimer les mauvaises herbes (Caubel et Rivoal, 1972 ; Rivoal et Simon, 1982).

#### **II.7.2.1.2. Les labours**

Les labours réalisés pendant la saison sèche (été) permettent la destruction des nématodes par leur exposition à la chaleur (Taylor, 1968).

#### **II.7.2.1.3. La jachère**

Cette opération consiste à priver le nématode de ses plantes hôtes (graminées) (Reddy, 1986). La jachère totale semble être un procédé très efficace (Rivoal et Cook, 1993). Elle occasionne en une année une réduction de 50 % dans certaines situations où le parasite présente une plus forte activité d'éclosion (Rivoal *et al.*, 1983).

#### **II.7.2.1.4. Les semis**

Les dates et les conditions de semis influencent le développement d'*H. avenae* (Ritter, 1965 b). Il est généralement admis que les céréales semées en automne tolèrent mieux les attaques d'*H. avenae* que celles de printemps (Caubel *et al.*, 1980 ; Brown, 1982 ; Meagher, 1982 ; Sikora, 1987) parce que le système racinaire des premières est beaucoup plus développé au moment de la pénétration du parasite.

Il est cependant très difficile de fixer une date idéale de semis, car celle-ci est fonction des conditions climatiques (Choppin De Janvry, 1971). En effet, en France, Caubel *et al.* (1980) et en Italie, Greco et Brandonisio (1987) notent qu'en Europe du Nord où l'éclosion est printanière, les céréales semées en automne tolèrent mieux les attaques d'*H. avenae* que celles semées au printemps parce que le système racinaire des premières est beaucoup plus développé au moment de la pénétration du parasite ; par contre, en France méridionale, le maïs échappe aux attaques de ce nématode qui présente une éclosion hivernale (Rivoal, 1975 b).

#### II.7.2.1.5. La fertilisation et les amendements

Les amendements organiques, tels que les engrais verts accroissent l'activité biologique du sol et favorisent le développement des antagonistes du nématode (Caubel *et al.*, 1980 ; Reddy, 1983).

De même, une fertilisation minérale est bénéfique au développement de la plante (Schneider, 1965). Un rapport de potasse inhibe l'éclosion larvaire du parasite (Caubel *et al.*, 1980).

#### II.7.2.1.6. La rotation culturale

La rotation culturale consiste à introduire la culture des plantes non hôtes appartenant à d'autres familles botaniques (autres que les graminées). Celle-ci réduit considérablement les populations annuelles d'*H. avenae* (Schneider, 1965 ; Williams et Siddiqi, 1972 ; Caubel *et al.*, 1980 ; Rivoal et Besse, 1982 ; Rivoal, 1986 b ; Rivoal, 1986 c ; Sanchez et Zancada, 1987 ; Rivoal, 1988). Toutefois, le taux de réduction varie considérablement selon le taux d'éclosion des larves à partir des kystes, qui diffère selon l'écotype (Caubel *et al.*, 1980 ; Rivoal *et al.*, 1985 ; Rivoal, 1986 a) et le pathotype (Zancada et Sanchez, 1989).

Les œufs des races septentrionales du parasite ont une plus forte propension à libérer leurs larves, jusqu'à 80 % en une année, alors que celles du Sud de la France, le taux d'éclosion ne dépasse pas 40 p. cent pendant la même période (Rivoal et Person-Dedryver, 1982 ; Rivoal, 1986 a).

Certaines cultures protéagineuses, telles que le pois chiche (Reddy, 1983) et la féverole (Person-Dedryver, 1989) limitent largement la multiplication d'*H. avenae* et améliorent la teneur du sol en azote (Brown, 1982 b). Le maïs occasionne une réduction annuelle des effectifs d'environ 60 % (Rivoal *et al.*, 1994) mais sa présence dans la rotation doit être protégée par des traitements nématicides localisés (Schneider, 1965 et Person-Dedryver, 1989). Rivoal et Besse (1982) rapportent que trois années consécutives de sorgho occasionnent une destruction quasi-totale des populations d'*H. avenae*.

Selon Smaha (2002), une rotation basée sur la culture de pois chiche après une céréale (blé tendre, Anza) a permis de diminuer les effectifs d'*H. avenae*. Cependant, l'application de la rotation reste difficile pour des raisons économiques évidentes (Williams et Siddiqi, 1972 ; Caubel *et al.*, 1980 ; Anderson, 1982 ; Doussinault et Person-Dedryver, 1988).

### II.7.2.1.7. Les variétés résistantes

La résistance aux nématodes à kystes (*Heterodera*) est une opposition au développement des larves infestantes (L2) en femelles dans les racines (Rivoal *et al.*, 1991).

La tolérance traduit la capacité d'une variété à supporter une attaque du nématode sans perte de rendement (Doussinault *et al.*, 1986).

Les lignées les plus utilisées en sélection sont « Loros » et « Aus 10894 », mais leur résistance se révèle parfois inefficace contre certains pathotypes (Dosba et Rivoal, 1981 ; Rivoal et Person-Dedryver, 1984 ; Rivoal *et al.*, 1985 ; Rivoal *et al.*, 2001; Mokabli, 2002).

Les variétés résistantes constituent de véritables plantes pièges pouvant occasionner des diminutions de 50 à 80 % des effectifs du parasite en une seule année de culture (Rivoal *et al.*, 1988). En France, des diminutions importantes de l'ordre de 60 à 80 % sont obtenues après cultures de variétés résistantes d'orge et d'avoine (Caubel *et al.*, 1980).

La résistance d'une variété peut être contournée par la sélection des races agressives préexistantes ou obtenues à la suite d'une mutation (Dosba et Rivoal, 1981). Le blé « Loros » ne produit aucune femelle en France (Person-Dedryver et Doussinault, 1978), alors qu'en Australie (O'Brien *et al.*, 1980 ; Doussinault *et al.*, 1986), cette résistance est contournée par un pathotype différent. Le contournement de la résistance de la variété d'avoine Panema par *H. avenae* dans la plaine d'Argentan a été obtenu dans le cas d'expérimentations de longue durée (18 années) après introduction de ce cultivar à 60% dans la rotation (Rivoal *et al.*, 1986 b).

L'utilisation des variétés résistantes représente un outil avantageux, car elle évite de perturber l'organisation technique et économique de la production. Leur utilisation doit se faire avec beaucoup de précautions (Rivoal *et al.*, 1983 ).

### II.7.2.2. Méthodes chimiques

L'emploi de nématicides est peu fréquent en cultures céréalières en raison du coût élevé des produits disponibles et des conséquences environnementales (risque de toxicité à l'emploi des résidus) (Rivoal et Sarr, 1983).

### II.7.2.3. Méthodes biologiques

La régulation des populations de nématodes dans le sol peut être envisagée aussi par l'utilisation d'antagonistes biologiques constituant de très sérieux auxiliaires dont il faut approfondir la connaissance des caractéristiques, pour permettre la mise au point des méthodes de production en masse. Parmi les champignons parasites d'œufs, le plus fréquent est *Verticillium chlamyosporum* qui semble avoir une large répartition géographique (Cayrol *et al.*, 1982 ; Kerry, 1988). Le principal parasite des femelles est le *Nematophthora ynophila* qui agit en empêchant la formation des kystes et en diminuant la fécondité, ainsi que la bactérie *Pasteuria penetrans* (Kerry *et al.*, 1980 ; Kerry *et al.*, 1982).

### II.7.2.4. Lutte intégrée

C'est une approche de planification et de gestion des cultures et alors de décision dans laquelle on doit combiner différents moyens de lutte : culturaux, chimiques et biologiques, de manière raisonnable, efficace, durable et économique, avec la préservation de l'environnement.

Compte tenu de la complexité des problèmes posés par *H. avenae*, et pour les bien gérer, il est indispensable d'appliquer une stratégie fondée principalement sur l'intégration des méthodes

**PARTIE II:**  
**Analyse expérimentale**

# **Chapitre I :**

## **Matériels et méthodes**

## Chapitre I :

### Matériels et méthodes

#### 1.22I.1. Objectif de l'étude

L'étude consiste à faire des prospections sur le terrain et des échantillonnages du sol dans quelques parcelles cultivées en céréales dans quelques localités productrices de ce produit dans la région d'Ain Defla.

Les principaux objectifs de notre étude sont :

1-Détecter la présence des nématodes à kyste du genre *Heterodera* sur un certain nombre de parcelles de céréales dans la région prospectée.

2- Evaluation de degré d'infestation des parcelles de céréales par ces parasites.

3- L'influence des conditions de culture sur le développement de ces ravageurs.

#### 1.23 I.2. Présentation de la région d'étude

L'étude a été menée dans la région d'Ain Defla, l'une des régions productrices de céréales en Algérie.

La recherche se déroule dans 9 communes de la wilaya, à savoir, Rouina, Bourached, Ain Defla, Arib, El Abadia, El Attaf, Djendel, Ain Lechiekh et Ain Soltane qui sont reconnues pour leur production de céréales.

##### I.2.1. Situation géographique

La wilaya d'Ain Defla est une wilaya montagneuse qui fait partie intégrante de la région du Tell, elle est formée par le massif de la Dahra au Nord qui culmine au mont Zaccar (1 550 m) au Nord de Miliana, par l'Ouarsenis qui culmine au mont Achaouen près de 1 800 m au Sud-Est de Tarik Ibn Ziad, et la vallée de Chellif entre les deux massifs.

La wilaya d'Ain Defla est située au centre de l'Algérie à 145 km au Sud-Ouest d'Alger dans une zone reliant l'Est et l'Ouest du pays (Fig.18), elle est délimitée :

- Au Nord, par la wilaya de Tipaza ;
- Au Nord-Est, par la wilaya de Blida ;

- À l'Est, par la wilaya de Médéa ;
- au Sud, par la wilaya de Tissemsilt ;
- à l'Ouest, par la wilaya de Chlef.

La wilaya d'Ain Defla compte trente-six communes ; Aïn Benian, Aïn Bouyahia, Aïn Defla, Aïn Lechikh, Aïn Soltane, Aïn Torki, Arib, Bathia, Belaas, Ben Allal, Birbouche, Bir Ould Khelifa, Bordj Emir Khaled, Boumedfaa, Bourached, Djelida, Djemaa Ouled Cheikh, Djendel, El Abadia, El Amra, El Attaf, El Hassania, El Maine, Hammam Righa, Hoceinia, Khemis Miliana, Mekhatria, Miliana, Oued Chorfa, Oued Djemaa, Rouina, Sidi Lakhdar, Tacheta, Zougaha, Tarik Ibn Ziad, Tiberkanine et Zeddine.

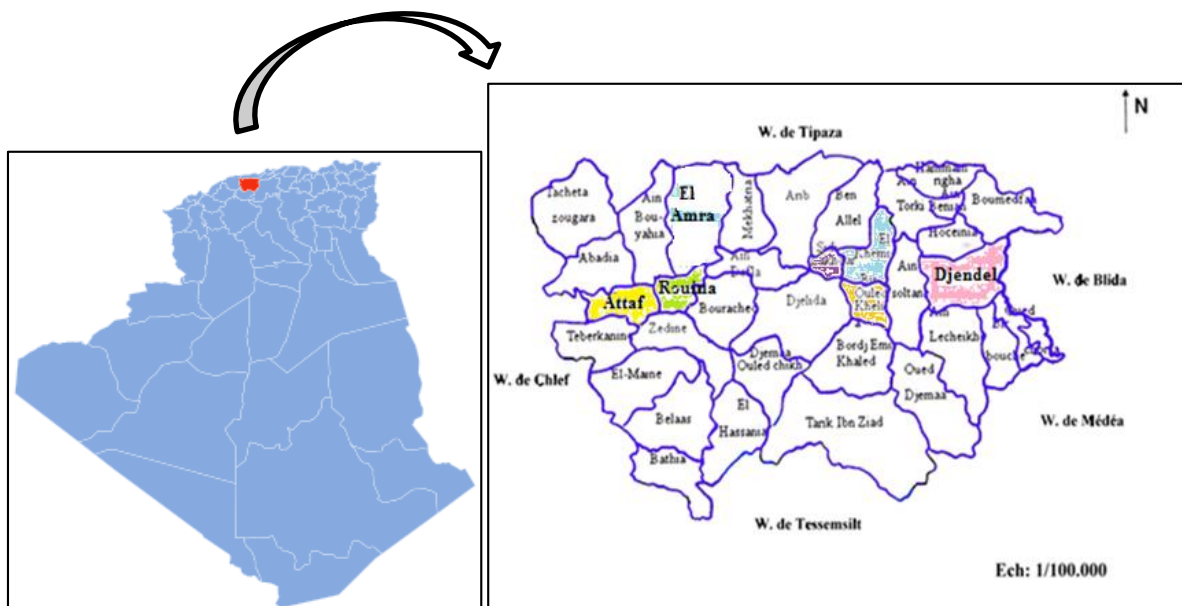


Figure 17 : Localisation de la Wilaya d'Ain-Defla.

### I.2.2. Caractéristiques du sol

La wilaya d'Ain Defla présente un sol riche qui favorise le développement de la culture de céréales. L'étude géologique effectuée par Boulaine en 1957 révèle que les sols de la région sont généralement des sols lourds, fertiles et de texture variable avec prédominance d'éléments fins (80) dont plus de (45) d'argile. Cette particularité leur confère une plasticité excessive, qui les rend difficiles à structurale. Les meilleurs sols sont répartis de part et d'autre de l'Oued Cheliff sur toute la vallée du Cheliff avec une superficie globale d'environ 6500ha.

On distingue une mosaïque de texture à savoir :

- sols limono-argileux.
- sols argilo-limoneux.
- sols calci-mégnésiques.
- sols fer-sialitiques.
- sols sablo-limoneux.

### **I.2.3. Climat**

Le climat de la wilaya d'Ain Defla est de type méditerranéen semi-aride, avec un caractère de continentalité très marqué. La pluviométrie varie entre 500 et 600 mm/an.

La température est marquée de 20°C de Janvier à Aout. L'été s'étend sur six mois environ avec des masses d'air chauds. L'hiver étant froid dans la partie centrale de Zaccar et les gelées relativement fréquentes de Novembre à Mai.

#### **1.24I.3. Analyse nématologique**

Pour évaluer l'état d'infestation des parcelles de céréales appartenant à différentes communes de la région d'Ain Defla par les nématodes à kystes du genre *Heterodera*, une analyse nématologique a été effectuée.

L'analyse comprend trois étapes :

- 1-Echantillonnage du sol.
- 2- Extraction des kystes.
- 3- Récupération et comptage des kystes.

#### **I.3.1. Échantillonnage du sol**

L'échantillonnage a été réalisé dans des parcelles cultivées en céréales, qui pourraient être infestées par des nématodes à kystes *Heterodera* sp.. Les échantillons ont été collectés dans 31 parcelles réparties dans 9 communes de la wilaya d'Ain Defla. La méthode utilisée est l'échantillonnage global (Merny et Luc, 1969), qui consiste à collecter des échantillons (plusieurs points d'une parcelle d'un hectare pesant chacun environ 100 g) qui sont regroupés pour former un échantillon unique de sol d'environ 2 kg, (en considérant hétérogénéité de la répartition des nématodes). Des échantillons ont été collectés le long de deux diagonales (Fig. 19) dans des couches de sol comprises entre 10 et 30 cm de profondeur. Recueillir 31 échantillons de base à l'aide d'une houe (ou une binette) (Fig.20) et les placer dans des sacs

en plastique immédiatement après le prélèvement portant des étiquettes où sont mentionnées tous les informations nécessaires (la date de prélèvement de l'échantillon, la commune, le numéro de la parcelle, le type de céréale, la variété cultivée, mode d'irrigation, type de sol ainsi que toutes les informations susceptibles d'expliquer l'importance de l'infestation par ces nématodes phytophages). Ces sacs sont transportés vers le laboratoire (Fig. 21).

Les régions étudiées et les principales informations sur les parcelles prospectées et les échantillons prélevés sont indiquées dans le tableau 4.

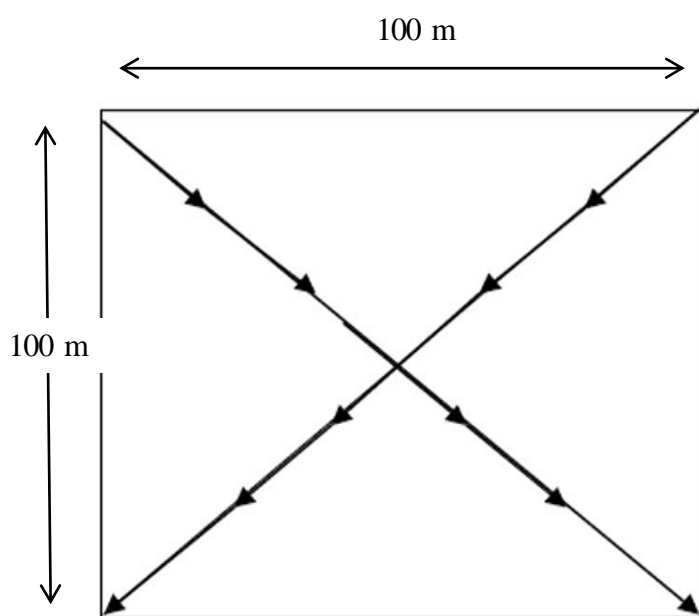


Figure 18 : Schéma d'échantillonnage au niveau des parcelles prospectées.



Figure 19 : Échantillonnage du sol (Originale).



Figure 20 : Conditionnement des échantillons du sol au laboratoire (Originale).

Tableau 4 : Les communes étudiées et des informations sur les parcelles prospectées et les échantillons prélevés dans la région d'Ain Defla.

Commune	Parcelle	Date d'échantillonnage	Espèce de céréales et variété utilisée (2022/2023)	Précédent cultural (sur 4 ans) -2021/2022 -2020/2021 -2019/2020 -2018/2019	Irrigation	Désherbage	Fertilisation chimique	Amendement organique (fumier)	Le labour (printemps, ou été, ou automne)	Connaissance de l'agriculteur sur les nématodes	Type de sol
Ain Defla	Parcelle 1	24/01/2024	Blé dur	-Avoine -Blé tendre -Blé dur -Orge	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 2	24/01/2024	Blé tendre	-Blé tendre -Jachère -Pois chiche - /	Aucune source d'irrigation	Oui	Oui (NPK)	Oui	Printemps	Il a des connaissances	/
	Parcelle 3	24/01/2024	Orge	-Jachère -Pomme de terre - / - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/
Djendel	Parcelle 1	07/01/2024	Blé dur	-Blé tendre -Jachère -Vesce-Avoine - /	Aucune source d'irrigation	Oui	Non	Non	Printemps	Aucune connaissance	/
	Parcelle 2	07/01/2024	Orge	-Pomme de terre -Jachère - Jachère - /	Aucune source d'irrigation	Non	Non	Non	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 3	14/01/2024	Avoine	-Pomme de terre -Jachère -Blé tendre - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Oui	Automne	Il a des connaissances	/
	Parcelle 4	14/01/2024	Blé dur	-Avoine -Jachère - Oignon - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/

## Chapitre I :Matériels et méthodes

Ain Lechiekh	Parcelle 1	07/01/2024	Blé tendre	-Blé dur -Blé dur -Blé dur -Pomme de terre	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 2	15/01/2024	Blé dur	-Fève -Pomme de terre -Blé dur -Pomme de terre	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Oui	Printemps	Aucune connaissance	/
	Parcelle 3	15/01/2024	Avoine	-Blé dur -Pomme de terre -Blé dur -Pomme de terre	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/
Arib	Parcelle 1	20/01/2024	Blé dur	-Blé tendre -Orge -Blé tendre - /	Aucune source d'irrigation	Oui	Oui	Non	Automne	Il a des connaissances	/
	Parcelle 2	20/01/2024	Avoine	-Jachère -Blé tendre -Jachère - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Eté	Aucune connaissance	/
	Parcelle 3	20/01/2024	Orge	-Blé dur -Jachère -Blé dur - /	Aucune source d'irrigation	Oui	Oui	Non	Automne	Aucune connaissance	/
Ain Soltane	Parcelle 1	30/12/2023	Blé tendre	-Blé dur -Blé dur -Jachère -Jachère	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Eté	Aucune connaissance	/
	Parcelle 2	30/12/2023	Avoine	-Jachère -Blé dur -Jachère -Blé tendre	Aucune source d'irrigation	Non	Non	Oui	Printemps	Aucune connaissance	/
	Parcelle 3	30/12/2023	Blé dur	-Jachère -Blé tendre -Jachère -Avoine	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Oui	Automne	Aucune connaissance	/
Abadia	Parcelle 1	27/12/2023	Blé dur	-Blé dur	Aucune	Oui	Oui	Non	Automne	Aucune	/

## Chapitre I :Matériels et méthodes

				-Blé dur -Jachère -Blé dur	source d'irrigation		(NPK)			connaissance	
	Parcelle 2	27/12/2023	Avoine	-Orge -Orge -Jachère -Blé dur	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Eté	Aucune connaissance	/
	Parcelle 3	27/12/2023	Blé dur	-Orge -Jachère -Blé dur - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Oui	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 4	29/12/2023	Blé dur	-Pomme de terre -Blé tendre - / - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Automne	Aucune connaissance	/
Rouina	Parcelle 1	22/12/2023	Blé tendre	-Pomme de terre -Avoine - / - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 2	22/12/2023	Blé tendre	- Ail -Jachère -Pomme de terre - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Printemps	Aucune connaissance	/
	Parcelle 3	22/12/2023	Orge	- Jachère -Pomme de terre - Oignon - Laitue	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Oui	Eté	Il a des connaissances	/
	Parcelle 4	25/12/2023	Avoine	- Fève -Pomme de terre - Petit pois - Orge	Aucune source d'irrigation	Oui	Non	Non	Automne	Aucune connaissance	/
El Ataf	Parcelle 1	15/12/2023	Blé dur	-Pomme de terre - Vesce -Avoine -Pomme de terre -Jachère	Aucune source d'irrigation	Non	Non	Non	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 2	15/12/2023	Blé dur	-Orge -Jachère	Irrigation par	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/

				-Blé dur -Blé dur	aspersion						
	Parcelle 3	19/12/2023	Blé dur	-Jachère -Jachère - Haricot -Avoine	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Printemps	Aucune connaissance	
	Parcelle 4	19/12/2023	Blé dur	- Blé dur -Jachère -Blé dur - Pois chiche	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/
Bourached	Parcelle 1	16/0/2024	Blé dur	-Blé dur -Jachère -Jachère -Blé tendre	Aucune source d'irrigation	Non	Oui (NPK)	Non	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 2	16/03/2024	Orge	-Pomme de terre -Jachère -Jachère - /	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Automne	Aucune connaissance	/
	Parcelle 3	16/03/2024	Blé dur	-Pomme de terre -Pomme de terre -Pomme de terre -Blé dur	Aucune source d'irrigation	Non	Oui	Non	Automne	Aucune connaissance	/

/ : Pas de données.

### I.3.2. Séchage du sol

Le sol est disposé sur du papier journal dans un endroit bien ventilé pour qu'il puisse sécher pendant 2 à 3 jours (Fig.22).

Une fois séché, le sol est soumis à un triage, afin d'éliminer les gros matériaux (cailloux, paille) (Fig. 23).



Figure 21 : Séchage du sol (Originale).



Figure 22 : Triage du sol (Originale).

### I.3.3. Pesage du sol

Le sol séché est pesé avec une balance de précision. Nous utilisons 1kg par échantillon de sol pour cette mesure (Fig.24).



Figure 23 : Pesage du sol (Originale). **A** : Prise de poids de l'échantillon ; **B** : Déversement de l'échantillon dans un sac; **C** : Sacs contenant le sol pesé.

### I.3.4. Extraction des kystes

Pour séparer les kystes du nématode *Heterodera* des autres composants du sol, une méthode décrite par Fenwick (1940) a été utilisée. Cette méthode repose sur la différence de densité entre les kystes et l'eau. Les kystes humides et pleins d'*Heterodera* ont une densité supérieure à 1,08, tandis que les kystes secs, quel que soit leur contenu, ont une densité inférieure à 1. Ainsi, les kystes humides se sédimentent rapidement tandis que les kystes secs flottent à la surface de l'eau, ce qui facilite leur récupération. Pour cette raison, le sol contenant les kystes doit être préalablement séché (Nakachian et Jacquemont, 1971).

#### I.3.4.1. Description de l'appareil de Fenwick

L'appareil de Fenwick est un appareil qui est décrit par un chercheur nommé Fenwick en 1940. Il a été modifié par Oostinbrink en 1960 (Nakachian et Jacquemont, 1971). C'est un grand récipient métallique de forme conique, plus large à la base qu'à la surface. L'appareil est muni d'un demi-cylindre qui porte une gouttière périphérique inclinée vers le bas avec un orifice conçu pour l'évacuation et l'écoulement de l'eau et des matériaux légers. Il est

constitué d'un orifice à sa base qui se trouve au sens contraire de la gouttière pour vider l'appareil après la récupération de la matière organique accompagnée des kystes (Fig. 25).

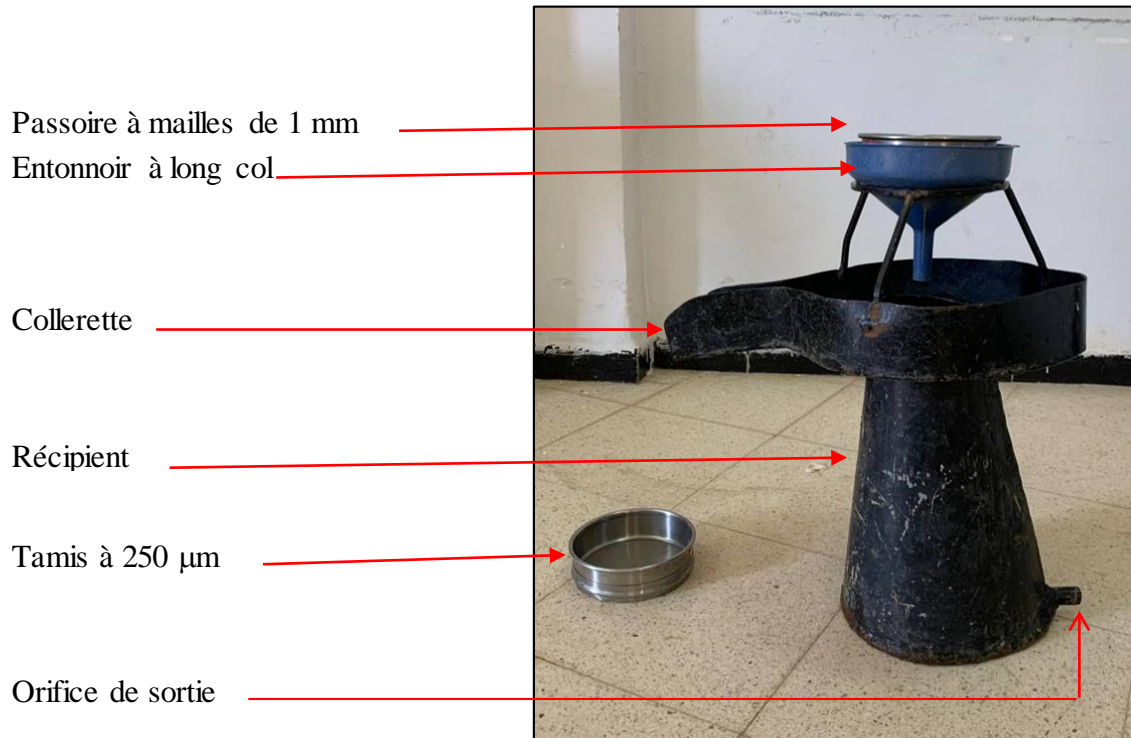


Figure 24 : Appareil de Fenwick (Originale).

### I.3.4.2. Méthode d'extraction

L'échantillon de sol est déposé dans un tamis placé au-dessus de l'appareil. Un jet d'eau est activé, poussant le sol à l'intérieur de l'appareil. Les particules légères flottent à la surface de l'eau et débordent dans la collerette de récupération avant d'être dirigées vers le tamis. Le jet d'eau continue jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule de l'appareil devienne parfaitement claire (Fig. 26).

Les particules récoltées dans le tamis de 250 µm sont rincées de façon à être regroupées, le produit est ensuite déversé sur un filtre papier placé sur un entonnoir au-dessus d'une Erlen-Meyer.



Figure 25 : Extraction des kystes d’Heterodera par l’appareil de Fenwick (Originale).

(**A** : Mettre le sol séché dans une passoire à maille de 1 mm ; **B** : Les kystes et les particules fines débordent à travers la gouttière de l'appareil dans un tamis de 250  $\mu\text{m}$  ; **C** : L'eau qui s'écoule de l'appareil devienne claire ; **D** : Récupération de l'extrait de tamis ; **E** : égouttage et séchage des papiers filtres contenant l'extrait ; **F** : récupération de l'extrait dans la boîte de Pétri ; **G** : les boîtes de Pétri étiquetées contenant l'extrait).

### I.3.5. Récupération des kystes

Les kystes en mélange avec la matière organique sont récupérés à l'aide d'un pinceau sous une loupe binoculaire (G : 10  $\times$  2) (Fig. 27) et mis dans une boîte de pétri portant du papier filtre et une étiquette.



Figure 26 : Prélèvement des kystes d'*Heterodera* sous une loupe binoculaire (Originale).

### I.3.6. Dénombrement

#### I.3.6.1. Dénombrement des kystes

Sous une loupe binoculaire et à l'aide d'un pinceau très fin, les kystes vides et les kystes pleins ont été séparés et dénombrés par la suite.

Les kystes vides sont identifiés par leur couleur claire qui devient transparente lorsqu'ils sont au contact d'une goutte d'eau, apparaissent dépourvus des œufs ou des larves. Par contre, les kystes pleins sont reconnus grâce à leur aspects turgescents, leur couleur foncée et parfois claire, et une grande taille mais parfois petite.

### **I.3.6.2. Dénombrement des œufs et des larves contenus dans les kystes**

Les kystes pleins d'*Heterodera* contiennent des œufs et des larves. L'écrasement de ces kystes se fait sous la loupe binoculaire (G : 10 × 4). En effet, à l'aide d'un pinceau on met un kyste sur une lame contenant une goutte d'eau. Ensuite, on l'écrase en deux par un scalpel, on vide le kyste de son contenu en séparant les œufs et les juvéniles regroupés à l'aide d'un épingle, puis on dénombre tous les œufs et les juvéniles contenu dans l'ensemble des kystes de chaque échantillon pour estimer leur densité par 1 kg de sol. Enfin, on reporte cette dernière à un gramme du sol afin de calculer les degrés d'infestations des différentes parcelles et comparer avec un seuil de nuisibilité. À noter que pour Rivoal *et al.* (1980) le seuil de nuisibilité est de 10 larves par gramme de sol.

### **1.25 I.4. Analyse statistique des résultats**

Pour déterminer la signification des résultats, une analyse de la variance (ANOVA) au seuil de 5% à un facteur a été appliquée pour tester l'effet des communes prospectées sur les paramètres liés aux nématodes à kystes du genre *Heterodera* :

- Différence non significative :  $p > 0,05$
- Différence significative :  $p < 0,05$
- Différence hautement significative :  $p < 0,01$
- Différence très hautement significative :  $p < 0,001$

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide de logiciel STATISTICA (version 6.0).

# **Chapitre II :**

# **Résultats et discussion**

### Chapitre II : Résultats et discussion

1.26

1.27II.1. Résultats

II.1.1. Caractéristiques morphologiques des nématodes à kyste des céréales

II.1.1.1. Les kystes

La morphologie des kystes a porté sur trois principaux paramètres ; la forme, la couleur et la taille. Ils sont de forme citriforme et possèdent un cou qui lui permet de se fixer sur les racines de la plante hôte. Leur couleur peut varier du brun clair au brun foncé, en fonction de leur maturité et de leur contenu interne. Les kystes pleins sont souvent plus foncés en raison de la présence d'œufs et de larves à l'intérieur, tandis que les kystes vides ou desséchés tendent vers des teintes plus claires. Ce paramètre est variable selon les kystes. En effet, nous avons constaté qu'au sein de la même population certains kystes sont de grande taille alors que d'autres sont beaucoup plus petits (Fig.28). Ce constat est valable aussi entre les populations.

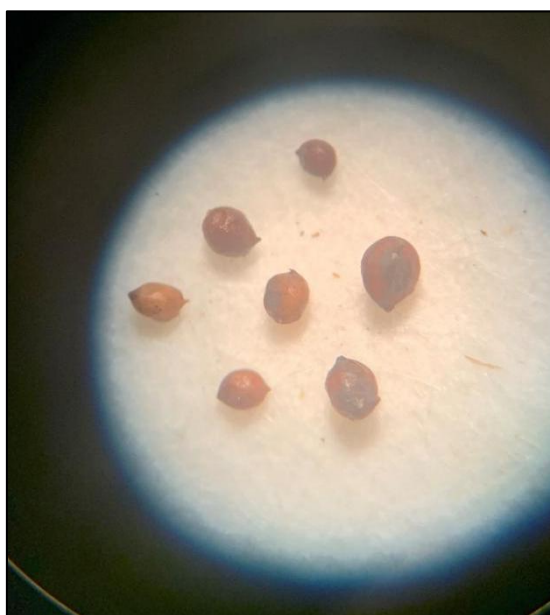


Figure 27 : Kystes d'*Heterodera* présentant différentes couleurs et tailles observés sous loupe binoculaire au grossissement (G : 10×2) (Originale).

### II.1.1.2. Les larves

Les larves de deuxième stade (L2) d'*Heterodera* sont les formes infestantes du nématode. Elles présentent des tailles variables et sont caractérisées par un corps allongé, mince et transparent. Elles possèdent un stylet buccal qui leur permet de pénétrer les racines des plantes hôtes. Sous loupe binoculaire, les larves L2 sont visibles comme de petites structures vermiformes mobiles (Fig.29).

### II.1.1.3. Les œufs

Les œufs de nématodes à kystes sont de forme ovale à allongée et mesurent environ 80 à 100 microns de long. Ils sont contenus dans des kystes et peuvent être observés en grand nombre. La coquille de l'œuf est lisse et translucide, ce qui permet de distinguer l'embryon en développement à l'intérieur lorsqu'on l'observe au microscope binoculaire (Fig.29).

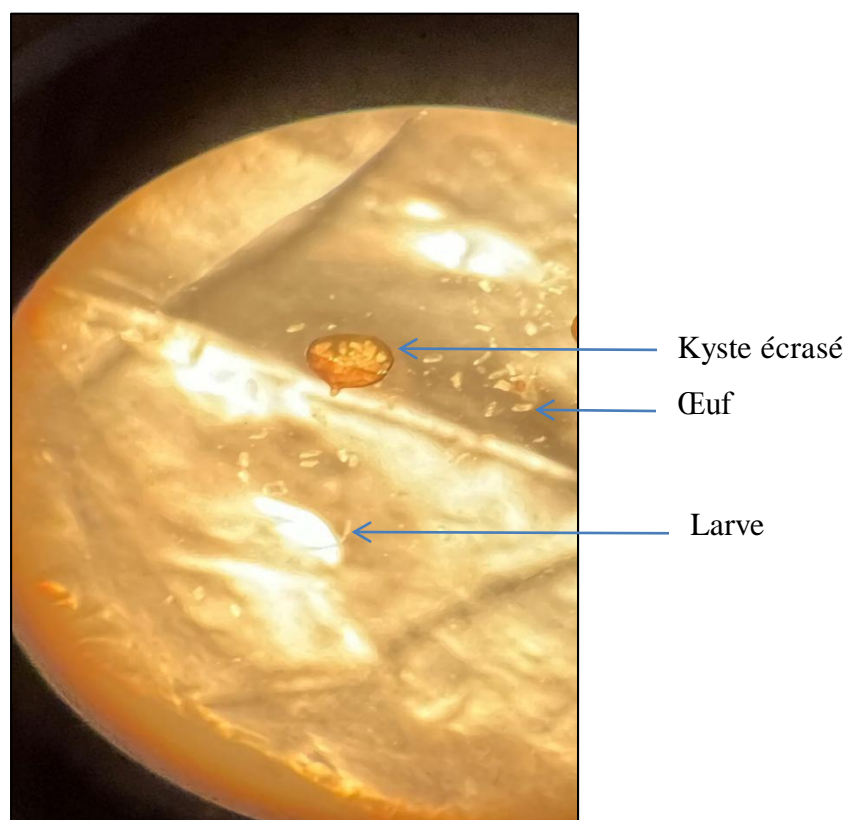


Figure 28 : Œufs et larves d'*Heterodera* vu sous loupe binoculaire (G : 10 ×4) (Originale).

### II.1.2. Fréquence des kystes d'*Heterodera* dans l'ensemble des échantillons

Les taux d'infestation des échantillons de sol récoltés dans 31 parcelles de céréales situées dans 9 communes de la wilaya d'Ain Defla par les kystes d'*Heterodera* sp. sont regroupés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Fréquence d'*Heterodera* sp. dans l'ensemble des échantillons de sol prélevés dans la région d'Ain Defla.

Commun	Nombre d'échantillons prélevés	Nombre d'échantillons infestés	% des échantillons infestés
Ain Defla	03	01	33,33
Djendel	04	02	50
Ain Lechiekh	03	03	100
Ariba	03	01	33,33
Ain Soltane	03	00	0
Abadia	04	00	0
Rouina	04	00	0
El Attaf	04	03	75
Bourached	03	01	33,33
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>11</b>	<b>35,48</b>

Le pourcentage d'infections varie considérablement selon les communes prospectées dans la wilaya d'Ain Defla. On distingue trois groupes des communes selon le taux d'infestation par les nématodes à kystes du genre *Heterodera* :

#### 1-Communes avec des taux d'infestation élevés :

-Ain Lechiekh : Avec 100 % des échantillons infectés, le taux d'infection dans la commune est très préoccupant et indique des problèmes potentiels importants au niveau de la gestion des cultures ou des conditions environnementales propices à l'infection.

### 2-Communes avec des taux d'infestation modérés :

-El Attaf : Le taux d'infection y est également très élevé, atteignant 75 %, et une attention particulière doit être accordée à l'identification et au contrôle de la source d'infection.

-Djendel : Avec 50% des échantillons infectés, il existe un risque modéré d'infection dans la commune, qui peut augmenter si des mesures appropriées ne sont pas prises.

-Ain Defla, Arib et Bourached : Le taux d'infection dans ces communes est de 33,33%, un chiffre encore inquiétant mais contrôlable avec des interventions appropriées.

### 3-Communes sans infestation détectée :

-Ain Soltan, Abadia et Rouina n'ont signalé aucune infection parmi les échantillons collectés. Cela peut indiquer des pratiques de gestion efficaces ou des conditions d'infestation moins favorables.

Au total, 11 des 31 échantillons collectés ont été infectés, pour un taux d'infection global de 35,48 %. Les données montrent que les taux d'infection varient considérablement d'une ville à l'autre, certains endroits nécessitant une intervention urgente pour contrôler et réduire les infections. Ces résultats soulignent l'importance de continuer à surveiller et à mettre en œuvre des stratégies de gestion ciblées pour lutter contre l'infestation dans les zones les plus touchées.

La figure 30 illustre davantage le taux d'infestation des échantillons de sol par les kystes de nématodes *Heterodera* sp.

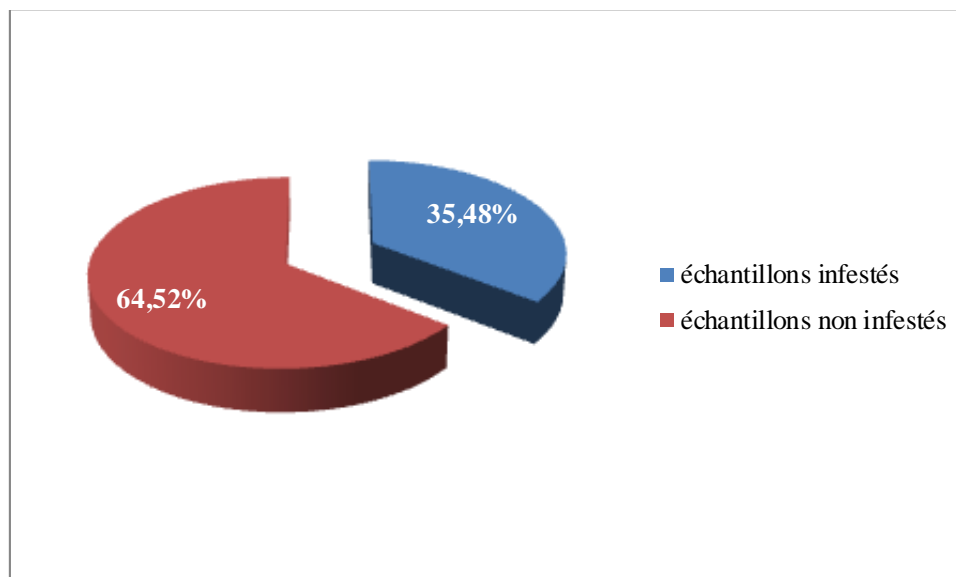


Figure 29 : Pourcentage des échantillons de sol infestés et non infestés par les *Heterodera*.

### II.1.3. Dénombrement des kystes d'*Heterodera*

Les résultats de l'analyse nématologique des différents échantillons prélevés dans 9 communes de la région d'Ain Defla (Ain Defla, Djendel, Ain Lechiekh, Arib, Ain Soltane, Abadia, Rouina, El Ataf et Bourached) sont consignés dans le tableau 6 et illustrés par les figures 31, 32 et 33.

**Tableau 6 :** Résultats de l'analyse nématologique des parcelles prospectées dans la région d'Ain Defla.

Commune	Parcelle	Nombre de kystes pleins / kg de sol	Nombre de Kystes vides/kg de sol	Nombre total de kystes / kg de sol	% kyste plein	% kyste vide	Degré d'infestation (œufs + L2/g de sol)	Nombre moyen d'œufs et de larves/ kyste ± écart type
Ain Defla	Parcelle 1	44	98	142	30,9	69	14,61	332,06±154,22
	Parcelle 2	00	10	10	00	100	00	00
	Parcelle 3	00	00	00	00	00	00	00
Djendel	Parcelle 1	00	04	04	0	100	00	00
	Parcelle 2	00	00	00	00	00	00	00
	Parcelle 3	04	11	15	26	73	0,97	242,50±104,92
	Parcelle 4	03	28	31	9,6	90,3	0,44	148,66±56,07
Ain Lechiekh	Parcelle 1	06	19	25	24	76	15,63	260,50±97,86
	Parcelle 2	02	18	20	10	90	0,34	171,50±28,99
	Parcelle 3	08	24	32	25	75	1,67	209,87±110,24
Arib	Parcelle 1	00	10	10	0	100	00	00
	Parcelle 2	00	02	02	0	100	00	00
	Parcelle 3	05	30	35	14	85	0,94	188,80±91,70
Ain Soltane	Parcelle 1	00	09	09	00	100	00	00
	Parcelle 2	00	00	00	00	00	00	00

## Chapitre II :Résultats et discussion

	Parcelle 3	00	00	00	00	00	00	00
Abadia	Parcelle 1	00	41	41	00	100	00	00
	Parcelle 2	00	03	03	00	100	00	00
	Parcelle 3	00	13	13	00	100	00	00
	Parcelle 4	00	32	32	00	100	00	00
Rouina	Parcelle 1	00	01	01	00	100	00	00
	Parcelle 2	00	00	00	00	00	00	00
	Parcelle 3	00	15	15	00	100	00	00
	Parcelle 4	00	00	00	00	00	00	00
El Ataf	Parcelle 1	04	09	13	30,8	69,2	0,89	222,50±59,32
	Parcelle 2	23	67	90	25,5	74,4	11,58	351,06±141,89
	Parcelle 3	00	02	02	00	100	00	00
	Parcelle 4	08	15	23	34	65	1,82	228,50±70,99
Bourached	Parcelle 1	10	31	41	24	75	2,90	290,50±203,97
	Parcelle 2	00	05	05	00	100	00	00
	Parcelle 3	00	01	01	00	100	00	00

Le tableau 6 présente les résultats d'une étude nématologique réalisée sur plusieurs parcelles dans différentes communes de la région d'Ain Defla, mettant en évidence le niveau d'infestation par les nématodes à kystes du genre *Heterodera*. Voici quelques points saillants et observations basées sur les données fournies :

➤ **État général de l'infestation :**

La majorité des parcelles analysées montrent une faible infestation par les kystes de nématodes, avec plusieurs parcelles ne présentant aucun kyste plein ou vide, ce qui suggère une absence ou une infestation très faible dans ces zones.

Les parcelles avec un nombre de kystes plus élevé montrent une distribution variée entre les kystes pleins et vides.

➤ **Densité de kystes :**

Le dénombrement des kystes dans les échantillons de sol montre une variation entre les différentes parcelles étudiées. Les kystes pleins, contenant des œufs et des larves, ainsi que les kystes vides, ont été comptés pour chaque parcelle.

La parcelle 1 d'Ain Defla présente la plus forte densité de kystes avec un total de 142 kystes/kg de sol, dont 44 pleins et 98 vides. Le pourcentage de kystes pleins est de 30,90%, ce qui est relativement bas, indiquant une majorité de kystes vides.

D'autres parcelles, comme la parcelle 2 de Djendel, la parcelle 2 d'Ain Soltane, et toutes les parcelles de Rouina et Abadia, montrent un nombre total de kystes de 0 ou très faible, ce qui reflète une absence d'infestation ou une infestation négligeable.

### ➤ **Pourcentage de kystes pleins et vides :**

Les parcelles avec des pourcentages élevés de kystes vides, comme la parcelle 2 d'Ain Defla, et les parcelles d'Abadia et Rouina, indiquent des infestations anciennes ou des cycles de vie des nématodes déjà complets, laissant principalement des kystes vides.

Les pourcentages de kystes pleins varient considérablement entre les parcelles, par exemple, de 0% dans plusieurs parcelles à 34% dans la parcelle 4 d'El Ataf.

### ➤ **Degré d'infestation :**

Le degré d'infestation, mesuré en nombre d'œufs et de larves par gramme de sol, varie de 0 à 14,61 œufs + L2/g de sol. Ain Defla, parcelle 1, montre le degré d'infestation le plus élevé, indiquant une forte présence de nématodes actifs.

Les autres parcelles montrent des degrés d'infestation relativement bas, voire nuls, ce qui est en cohérence avec le faible nombre de kystes pleins observés.

### ➤ **Nombre moyen d'œufs et de larves par kyste :**

Les valeurs du nombre moyen d'œufs et de larves par kyste montrent une grande variabilité, allant de  $148,66 \pm 56,07$  dans la parcelle 4 de Djendel à  $351,06 \pm 141,89$  dans la parcelle 2 d'El Ataf. Cela indique des variations significatives dans la fertilité des kystes entre les parcelles.

L'écart type relativement élevé dans certaines parcelles indique une variabilité importante dans la population de nématodes.

### ➤ **Observations spécifiques aux communes :**

Ain Defla : Montre une parcelle fortement infestée (parcelle 1) et des parcelles sans infestation significative.

Djendel : Généralement faible infestation, avec seulement quelques parcelles montrant une présence de kystes.

Ain Lechiekh : Une certaine infestation observée, notamment dans les parcelles 1 et 3, avec un nombre moyen d'œufs et de larves/kyste assez élevé.

Arib, Ain Soltane, Abadia, Rouina : Majorité des parcelles sans infestation ou avec très faible infestation.

El Ataf : Montre des parcelles avec des degrés d'infestation variés, certaines avec un nombre élevé de kystes et d'œufs.

Bourached : Une parcelle (parcelle 1) avec une densité de kystes notable et une moyenne d'œufs/kyste élevée.

Les résultats de cette analyse nématologique révèlent des niveaux d'infestation variables par les nématodes à kystes *Heterodera* sp. dans les parcelles de la région d'Ain Defla. Bien que certaines parcelles présentent une infestation significative, la majorité montre une faible ou nulle présence de kystes, suggérant des infestations localisées et la nécessité d'adopter des mesures de gestion ciblées pour prévenir la propagation des nématodes dans les zones les plus touchées. Une attention particulière doit être portée aux pratiques culturales et aux conditions environnementales qui influencent le développement de ces parasites pour assurer la santé et la productivité des cultures céréalières.

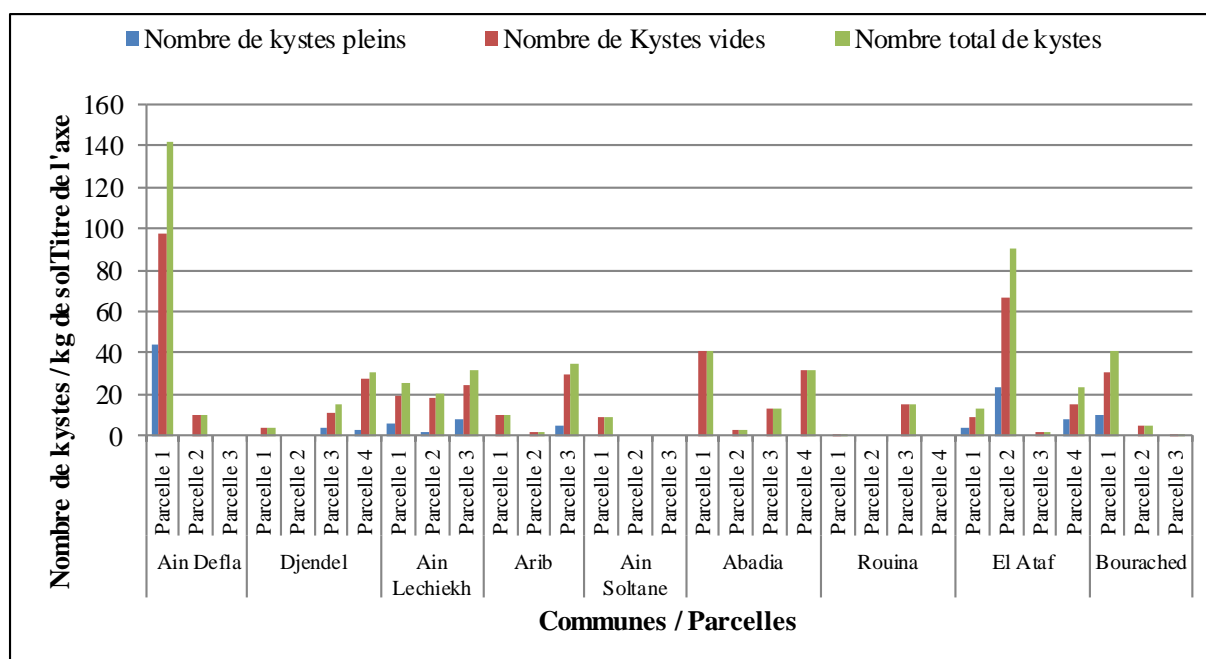


Figure 30 : Importance de l'infestation évaluée en nombre de kystes en fonction des parcelles dans la wilaya d'Ain Defla.

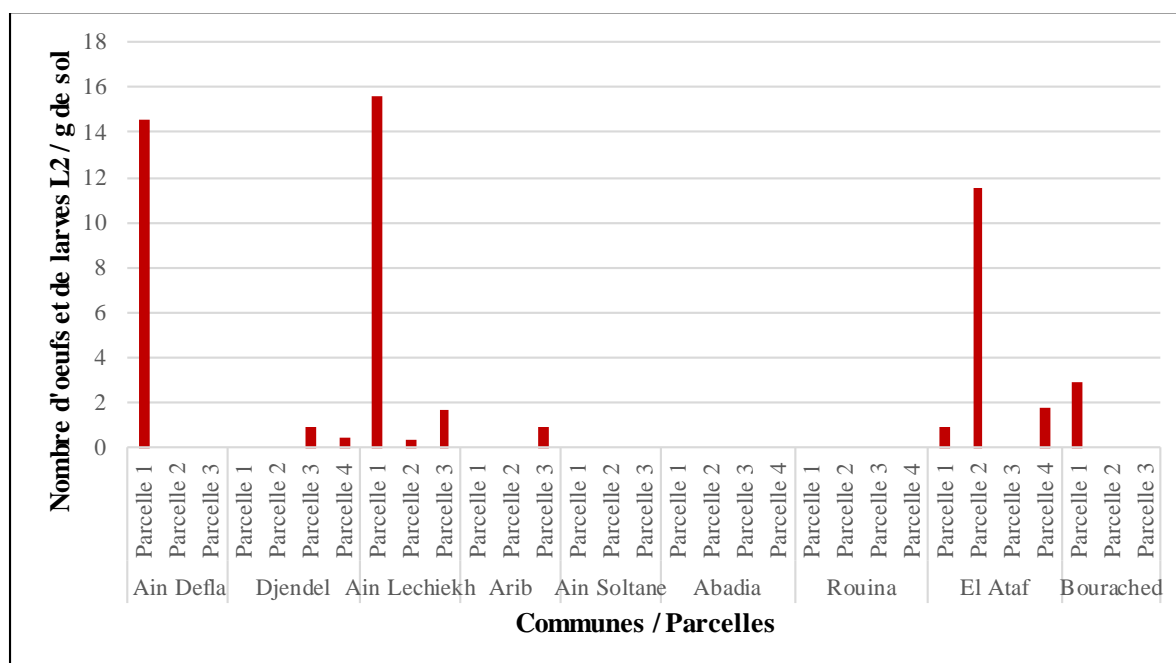


Figure 31 : Degrés d'infestation des *Heterodera* dans les différentes parcelles dans la wilaya d'Ain Defla.

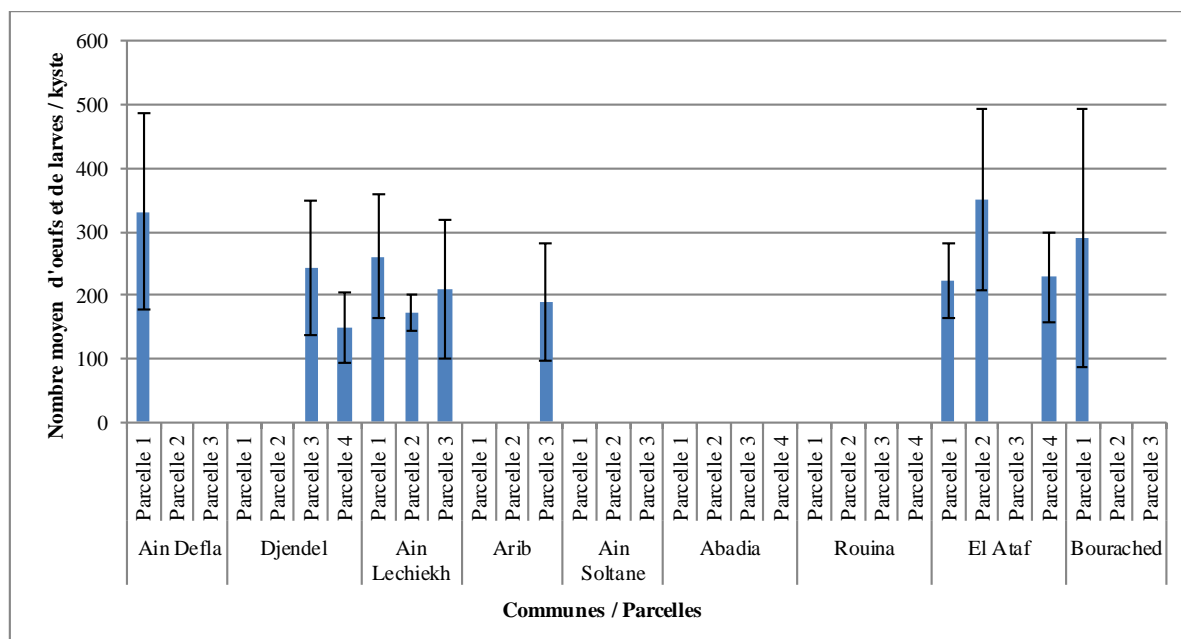


Figure 32 : Nombre moyen d'oeufs et de larves L2 par kyste dans les parcelles infestées dans la wilaya d'Ain Defla.

### II.1.4. Analyse statistique

Pour évaluer la significativité des différences observées entre les parcelles, une analyse statistique a été réalisée. Les données ont été analysées à l'aide de tests de

comparaison de moyennes (ANOVA), afin de déterminer si les variations observées dans le nombre de kystes, ainsi que dans le degré d'infestation et le nombre moyen d'œufs et de larves par kyste, étaient statistiquement significatives. Les résultats de l'analyse de la variance sont mentionnés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des communes prospectées dans la région d'Ain Defla sur les variables liées aux nématodes *Heterodera* sp.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	p
Nombre de Kystes pleins	649,3	8	81,16	1708,2	22	77,64	1,045240	0,433919
Nombre de Kystes vides	2868,3	8	358,54	10997,6	22	499,89	0,717229	0,674410
Nombre total de kystes	5741,8	8	717,72	20600,4	22	936,38	0,766484	0,635279
Degré d'infestation	143,0	8	17,87	379,8	22	17,26	1,035494	0,440161
Nombre moyen d'œufs et de larves/kyste	187249,7	8	23406,22	264309,6	22	12014,07	1,948233	0,103069

Les résultats de l'analyse statistique montrent que les différences observées entre les parcelles relatives aux valeurs moyennes des variables liées aux nématodes *Heterodera* ne sont pas significatives (toutes les probabilités calculées  $p$  sont supérieures à 0,05). Malgré cela, les variations observées soulignent l'importance de mesures de gestion ciblées pour contrôler ces nématodes à kyste des céréales dans les zones les plus infestées dans la willaya d'Aïn Defla afin de réduire l'impact de ces parasites sur les cultures céréalières de la région.

### 1.28 II.2. Discussion

Nous avons étudié l'état d'infestation de 31 parcelles cultivées en céréales par les nématodes à kystes du genre *Heterodera* inféodés à cette culture. Ces parcelles sont situées dans 9 communes (Ain Defla, Djendel, Ain Lechiekh, Arib, Ain Soltane, Abadia, Rouina, El Ataf et Bourached) de la wilaya d'Ain Defla. De même, les facteurs influençant le développement de ces nématodes ont été étudiés.

Les observations morphologiques des kystes, larves et œufs d'*Heterodera* dans les échantillons prélevés ont révélé des caractéristiques distinctives importantes. Les kystes observés présentent une grande variabilité en termes de forme et de couleur, généralement ils

sont de forme citriforme et allant du brun claire au brun foncé, en fonction de leur maturité et de leur contenu interne. Cette diversité morphologique a été confirmée par des études antérieures qui décrivent également des kystes de *Heterodera* avec des caractéristiques similaires (Nicol, 2002 ; Ben Kara et Hamlaoui, 2023 ; Hadjimi et Koriche, 2023).

Les larves de deuxième stade (L2), formes infestantes des nématodes, présentent une taille variable et sont équipées d'un stylet buccal pour pénétrer les racines des plantes hôtes. Ces caractéristiques sont cohérentes avec celles décrites dans la littérature, soulignant l'importance de la morphologie larvaire pour l'infestation des cultures (Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991).

Les œufs, quant à eux, présentent une taille variable et leur coquille translucide. La morphologie des œufs est un critère crucial pour l'identification et le diagnostic des infestations nématodes, comme le notent Perry et Moens (2013).

Concernant la fréquence et la distribution des kystes, les résultats montrent une variation de la fréquence des kystes d'*Heterodera* selon les échantillons de sol prélevés dans différentes parcelles de la wilaya d'Aïn Defla. La fréquence des kystes varie de 0 % à 100 %, avec des taux d'infestation particulièrement élevés dans les communes d'Ain Lechiekh (100 %), El Attaf (75 %) et Djendel (50 %). Ces variations indiquent des différences locales dans les conditions écologiques et les pratiques agricoles, influençant la distribution des nématodes.

La commune d'Ain Lechiekh, avec un taux d'infection de 100 %, présente des conditions particulièrement favorables à la prolifération des nématodes, possiblement en raison de pratiques culturales inadéquates ou de conditions environnementales spécifiques telles que la texture du sol et l'humidité (Evans *et al.*, 2003).

## **Conclusion générale**

## Conclusion

Cette étude sur l'infestation des parcelles de céréales par les nématodes à kystes, spécifiquement *Heterodera* sp., dans la région d'Aïn Defla a révélé plusieurs aspects cruciaux de la dynamique de ces parasites et des facteurs influençant leur développement. En effet, ces parasites sont présents dans 6 communes des 9 prospectées parce qu'ils sont détectés dans les différents sites d'échantillonnages de ces communes. La fréquence de l'infestation est variable d'une commune à une autre, allant de 33,33 à 100%. Ils sont signalés sous forme de kystes pleins ou vides. Les parcelles sont considérées infestées quand des kystes pleins sont détectés. La fréquence de l'infestation est de 35,48% puisque dans 11 des 31 parcelles échantillonnées, des kystes pleins de ces nématodes sont détectés.

Concernant le nombre des kystes pleins et vides, ils varient dans les différentes communes et entre les parcelles.

Les degrés d'infestation estimés par le nombre d'œufs et des juvéniles par g du sol sont différents d'une commune à une autre et entre les parcelles, et il dépasse le seuil de nuisibilité dans trois parcelles infestées situées respectivement à Ain Lechikh, Ain Defla et El Ataf. À noter que quelques parcelles sont faiblement infestées et d'autres sont indemnes de ces nématodes. Cette variabilité souligne l'importance de mener des études spécifiques à chaque parcelle pour comprendre les conditions locales favorisant la présence des nématodes. Les différences dans les pratiques agricoles entre les parcelles, telles que les rotations de cultures, et la préparation du sol, jouent un rôle déterminant dans la distribution des nématodes.

La monoculture continue de céréales a été identifiée comme un facteur majeur contribuant à l'augmentation des populations de nématodes. S'ajoute à cela, l'absence de la vulgarisation dans cette région est une cause majeure des problèmes phytosanitaires. Les rotations de cultures, impliquant des cultures non-hôtes, peuvent réduire les populations de nématodes en brisant leur cycle de vie. Les conditions climatiques, particulièrement l'humidité du sol et la température, influencent le développement et la survie des nématodes.

Une approche de gestion intégrée est essentielle pour contrôler les infestations de nématodes. Cela inclut l'adoption de rotations de cultures stratégiques, l'utilisation de variétés de céréales résistantes aux nématodes, et l'application ciblée de nématicides biologiques et chimiques. L'utilisation de produits chimiques, bien que parfois nécessaire, doit être gérée judicieusement

pour éviter le développement de résistances chez les nématodes et préserver l'environnement. La surveillance régulière des populations de nématodes dans les parcelles est cruciale pour détecter les infestations à un stade précoce et mettre en place des mesures de contrôle efficaces. Le développement de techniques agricoles durables, telles que le labour réduit et l'utilisation de composts organiques, peut améliorer la santé globale du sol et réduire la vulnérabilité des cultures aux nématodes.

Les résultats de cette étude ont des implications pratiques importantes pour les agriculteurs de la région. Les parcelles fortement infestées nécessitent des interventions immédiates pour éviter des pertes économiques significatives. La mise en œuvre de programmes de formation et de sensibilisation pour les agriculteurs sur les techniques de gestion des nématodes peut améliorer l'efficacité des stratégies de contrôle. Un effort concerté entre les agriculteurs, les chercheurs et les autorités locales est nécessaire pour développer des politiques agricoles visant à réduire l'impact des nématodes sur la production céréalière.

Il est nécessaire de suivre l'évolution des nématodes à kyste dans des parcelles de céréales à la fin de chaque culture pour une meilleure connaissance de leur distribution.

La résistance variétale est actuellement l'une des voies les plus intéressantes pour lutter contre les bio-agresseurs. La présente étude doit être poursuivie en prenant en considération le rôle de l'itinéraire technique : date de semis, travail du sol et la rotation des cultures sur l'intensité des infestations du nématode dans le sol.

De même, il est recommandé d'envisager des recherches sur des méthodes de lutte non polluantes et respectueuses vis-à-vis de l'environnement comme les rotations à base de plantes non hôtes (légumineuses, cultures maraîchères...).

A l'avenir, il faut continuer les prospections sur le terrain pour compléter la cartographie des *Heterodera* et évaluer les degrés d'infestation en fonction des exploitations agricoles et identifier les espèces de ces parasites susceptibles d'exister dans diverses régions. De même, il faut faire des tests de sensibilité des variétés de céréales aux attaques de ces nématodes pour une meilleure connaissance des variétés résistantes.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

1. Abawi, G. S., & Barker, K. R. (1997). *Nematode Parasites of Cereals*. In Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture (pp. 181-229). CAB International.
2. ABDOULLAHI M., 2008 -Morphology and morphometrics of *Heterodera filipjevi* (Madzhidov, 1981) steller, 1984 from Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, Iran. Pak. J. Biol. Sci., 11 (14): 1864-1867.
3. ABEBE E., MEKETE T. And THOMAS W. K., 2011 - A critique of current methods in nematode taxonomy. African Journal of Biotechnology, 10 (3): 312-323.
4. ABIDOU H., EL-AHMED A., NICOL J.M., BOLAT N., RIVOAL R. And YAHYAOU I A., 2005b - Occurrence and distribution of species of the *Heterodera avenae* group in Syria and Turkey. Nematologia Mediterranea, 33: 197- 203.
5. ABIDOU H., VALETTE S., GAUTHIER J. P., RIVOAL R., EL-AHMED A. And YAHYAOU I A., 2005a - Molecular Polymorphism and Morphometrics of Species of the *Heterodera avenae* Group in Syria and Turkey. Journal of Nematology, 37 (2):146 – 154.
6. Academie de toulouse, Collège Louisa Paulin de Muret, 27 août 2016, france
7. AESP, 2013 - Céréales : hausse de 5% de la facture des importations les dix premiers mois de 2013. Algerie Press Service, lundi 2 décembre 2013, 3 p.
8. AHMADI A.R. and TANHA MAAFI Z., 2014 - Incidence of Cereal Cyst Nematodes (*Heterodera avenae* type B and *H. Filipjevi*) in southwestern Iran. Journal of Crop Protection, 3 (1): 75-88.
9. AHREN D. And TUNLID A., 2003 - Evolution of Parasitism in Nematode-Trapping Fungi. The Journal of Nematology, 35 (2): 194-197.
10. Aidani H., 2015. Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées. « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire master en Agronomie Option Production et Amélioration des plantes Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
11. Aidani H., 2015. Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées. « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire master en Agronomie Option : Production et Amélioration des plantes Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.
12. Ait Slimane, Ait-Kaki Sabrina., 2008. Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie thèses de Doctorat en Sciences université Badji Mokhtar Annaba pp 26,29,56
13. Ait-Slimane-Ait-Kaki, S. (2008). Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie (Doctorat, Thèse Doctorat es Sciences. Univ. Annaba), p 25 - 26/174
14. AKAR T., CALISKAN M., NICOL J.M., URANBEY S., SAHIN E Y., AZAR S., WILLIAM M. And BRAUN H.J., 2009 - Molecular characterization of Cereal Cyst

- Nematode diagnostic markers Cre1 and Cre3 in some winter wheat germplasm and their potential use against *Heterodera filipjevi*. *Field Crops Research*, 114: 320–323.
15. AL HAZMI A.S. and DAWABAH A.A.M., 2014 - Effect of urea and certain NPK fertilizers on the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) on wheat. *Saudi journal of biological science*, 21 (2) 191-196.
  16. AL-HAZMI A. S., COOK R. And IBRAHIM A.A.M., 2001- Pathotype characterisation of the cereal cyst nematode *Heterodera avenae* in Saudi Arabia. *Nematology*, 3(4): 379–382.
  17. AMBROGIONI L. And IRDANI T., 2001 - Identification of *Heterodera schachtii* group species in Italy by morphometrics and RAPD-PCR. *Nematol. Medit.*, 29 : 159 - 168.
  18. ANDERSEN K. And ANDERSEN S., 1982b - Classification of plants resistant to *Heterodera avenae*. *EPPO Bulletin*, 12, 435-437.
  19. ANDERSEN S. And ANDERSEN K., 1982a - Suggestions for determination and terminology of pathotype and genes for resistance in cyst-forming nematodes especially *Heterodera avenae*. *EPPO Bulletin*, 12:379-386.
  20. ANDERSSON S., 1982 - Populations dynamics and control of *Heterodera avenae*. A review of some original results. *EPPO Bull.*, 463-475.
  21. ANONYME, 2005 - Les céréales en Algérie. [Roi.fr/Alger/Documents algériens/économique](http://Roi.fr/Alger/Documents/algériens/économique), 66
  22. ARVALIS., 2006- Diagnostic des accidents du blé dur, Institut du végétal, p : 26.
  23. ASHRAFI S., DABABAT A., MARIA FINCKH M. And MAIER W., 2014 - Identification and efficacy of naturally occurring fungi associated with cereal cyst nematode *Heterodera* and wheat. *Nachwuchswissenschaftlerforum / Young Scientists Meeting, Berichtsband des Julius Kühn-Institut*: 24.
  24. Assoko, J. T., (202). Céréales : l'Algérie veut compter sur son « stock de sécurité » <https://www.jeuneafrique.com/>
  25. AVENDAÑO F., PIERCE F. J., SCHABENBERGER O. And MELAKEBERHAN H., 2004 - The spatial distribution of soybean cyst nematode in relation to soil texture and soil map unit. *Agronomy Journal*, 96 :181-194.
  26. **Aziz H., 1993.** *Contribution à l'étude de la distribution géographique d'Heterodera avenae dans la Mitidja. Essai de comportement de quelques variétés de céréales vis-à-vis de cette espèce.* Mémoire d'ingénieur en Agronomie. Inst. Nat. Agro., El Harrach, Alger, 70 p.
  27. BADILLET G., DE BRIEVE C. Et GUEHO E., 1987 - Champignons contaminants des cultures champignons opportunistes. *Atlas clinique et biologique*, vol II, Ed. Varia, Paris.
  28. Baldwin, J. G., & Mundo-Ocampo, M. (1991). Heteroderinae, cyst- and non-cyst-forming nematodes. In *Manual of Agricultural Nematology* (pp. 275-362). Marcel Dekker, Inc.
  29. Baldwin, J. G., & Mundo-Ocampo, M. (1991). Heteroderinae, cyst- and non-cyst-forming nematodes. In *Manual of Agricultural Nematology* (pp. 275-362). Marcel Dekker, Inc.

### **bibliographiques**

30. BARNETT H.L., HUNTER B.B., 1987- Illustrated genera of imperfect fungi. Fourth Ed. Mac Millan Publishing company, New York, 219 p.
31. Begcy, K. & Dresselhaus, T. (2018) Epigenetic responses to abiotic stresses during reproductive development in cereals. *Plant Reproduction*.
32. BEKAL S., GAUTHIER J. P. And RIVOAL R., 1997 - Genetic diversity among a complex of cereal cyst nematodes inferred from RFLP analysis of the ribosomal internal transcribed spacer region. *Genome* 40:479–486.
33. BELAID A., 2000- Durum wheat in WANA: Production, trade, and gains from technological change. In: Eds.
34. **Ben Kara A. Et Hamlaoui A.M., 2023.** *Importance et facteurs influençant le développement des nématodes à kystes des céréales du genre Heterodera dans quelques régions de l'Algérie du Nord.* Mémoire de Master en Agronomie, Université de Khemis Miliana, 93p.
35. BEN ZARROUK A, 2012- Réussir une campagne de blé en Tunisie , Art, Actualités Tunisiennes , 34p.
36. Bender D.A., Bender A.E., 1999. *Benders' Dictionary of Nutrition and Food Technology*, woodheadpublishing Ltd.
37. BENDIF N., 1994 - La situation actuelle des maladies des céréales en Algérie. *I.T.G.C., Céréaliculture*, 27: 9-12.
38. BOULAL H., EL MOURID M., REZGUI S. Et ZAGHOUAN O., 2007 - Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (Blé et Orge) dans le Maghreb (Algérie Maroc et Tunisie). ITGC. INRAA. ICARDA, 176p.
39. Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. Et Rezgui S., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
40. BOULANOUAR A., 2008 – Etude de l'incidence des rotations culturales sur l'évolution des densités de nematodes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*, dans deux localités de Khenchela. Thèse de magistère en sciences agronomiques, option phytopathologie, Université Abderrahmane Mira de Béjaia. 63 p.
41. BRADY N.C., 1990- Nature and properties of soils. 10th ed. Mac Millan Publishing Company. New York.
42. BRIDGE J., 1996 - Nematode management in sustainable and subsistence agriculture. *Annual Review of Phytopathology*, 36: 203-225.
43. BRIDGE J., 1998 - Plant-parasitic nematode problems in the Pacific. *J. Nematol.*, 30(2) : 243-244.
44. Bridge, J., & Starr, J. L. (2007). *Plant Nematodes of Agricultural Importance: A Colour Handbook*. Academic Press.
45. BRIDGE, J., 1993 - Worldwide distribution of the major nematode parasites of cereals: Current knowledge and research gaps. In J. F. Stanton, D. E. Cooke, & B. B. Brodie (Eds.), *Proceedings of the Fourth International Congress of Nematology* (pp. 173-177). Boston: USA.

### bibliographiques

46. Brodeur, J., & Eilenberg, J. (2008). Ecosystem services provided by arthropod parasitoids. *Biological control*, 45(2), 144-157.
47. BUISSON C., 2007- Etat actuel des nematodes parasites des céréales au Maroc. *Conduites des céréales d'automne au Maroc*. 9-13.
48. CADENAS H., CRUZ L. J., and SAMIN A., 2012 - Molecular and morphometric characterization of *Heterodera glycines* population from northern Argentina. *Nematropica*, 42(2), 210-218.
49. Capinera, J. L. (2008). *Encyclopedia of entomology*. Springer Science & Business Media.
50. Carder J.H., 1957. Quantitative estimation of nematode parasites on roots. *Ann. Appl. Biol.* 45: 8-16.
51. CASTILLO P. And VOLVAS N., 2007 - Pathogenicity of the root-knot nematode *Meloidogyne hispanica* on potato. *Plant Pathol.*, 56 (5): 779- 786.
52. **Caubel G., Person D.F. et Rivoal R., 1980.** Les nématodes dans les rotations céréalières. *Persp. Agric.*, Paris n° 36, pp. 32-48.
53. Chabert A, Buisson A, Brun F, Ruck L, Champeil A, Thibord JB. 2012. Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures: recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques. *Innovations Agronomiques* 25: 205–217.
54. CHARAABI M., 2003. Diagnostic et etude de la toxicité sur le blé des principales matières actives des fongicides les plus utilisées dans la région de Tiaret. Thèse de doctorat en agronomie, Université de Tiaret. 139p.
55. Chen, S., & Chen, F. (2010). Ecology of plant-parasitic nematodes. In *Plant Nematology* (pp. 43-66). Springer.
56. CHET I., 1987. Trichoderma-Application, Mode of Action and Potential as a Biocontrol Agent of Soil-borne Plant Pathogenic Fungi. In *Innovative Approaches to Plant Disease Control* (pp. 137-160). John Wiley & Sons.
57. COOK R. And NOEL G.R., 2002 - Cyst Nematodes: *Globodera* and *Heterodera* Species. In *Plant Resistance to Parasitic Nematodes* (pp. 71-105). CABI Publishing.
58. Cotton P.A., 2017 - Nematode-induced changes in plant physiology and resistance mechanisms. In: Jone M.G.K. et al. (eds.), *Cereal Nematodes: Control and Resistance*, CAB International, UK, pp. 321-336.
59. Dababat A, Imren M, Erginbas-Orakci J, Ashrafi S, Yavuzaslanoglu E, Toktay H, et al. 2015. The importance and management strategies of cereal cyst nematodes, *Heterodera* spp., in Turkey. *Euphytica* 202(2): 173–188.
60. Darban D.A., Askary H. And Hadian H., 2010. Survey of plant parasitic nematodes on some gramineae crops in Guilan province, Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 46(1): 11-12.
61. DECKER H., 1969 - Dehydration in nematode physiology and behaviour. *Proc. Helminthol. Soc. Wash.* 35: 44-58.
62. DJERMAOUI S., 1998 - Techniques de production et de protection des céréales (Blé dur, Blé tendre, orge et Avoine) dans le Maghreb. *Projet de diffusion de la technologie*

### **bibliographiques**

- en agriculture, Direction des programmes agricoles de la Délégation de l'Union Européenne.
63. **Djetti T., Hammache M. Et Doumandji S., 2018.** Incidence and geographical distribution of cereal cyst nematode (CCN, *Heterodera* spp.) In winter wheat fields in Algeria. *Arxius de Miscel.lània Zoològica*, 16: 151-162.
  64. Dolatabadian, A., et al., 2017. Ecophysiology of cereals under biotic and abiotic stresses. In: M. I. Shabbir and N. Ahmad (Eds.), *Plant Ecophysiology*. Springer International Publishing, Cham.
  65. EBIYAU J., 2012 - Spatial distribution and population dynamics of plant-parasitic nematodes in cereal-based cropping systems in Uganda. Phd thesis, Makerere University, Uganda, 220p.
  66. Eggs. R., 2017. Dynamics of Cereal Nematodes under Climate Change. *Nematology*, 19(10), 1165-1174.
  67. EICHHORN M.P., 2007- Cereal diseases and pests in Europe. In: M. W. Watson et al. (eds.), *Cereal Pathogens and Parasites*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, pp. 215-228.
  68. El Atta, H.A., 2003. Effect of various cereal crops on population dynamics of *Heterodera avenae*. *Nematology*, 5(3), 423-429.
  69. Electronic references: Académie de Toulouse. 2016. Collège Louisa Paulin de Muret.
  70. Electronic references: Algérie Presse Service, AESP, 2013. Céréales: hausse de 5% de la facture des importations les dix premiers mois de 2013. 02/12/2013.
  71. Electronic references: Assoko J.T. 2021. Céréales: l'Algérie veut compter sur son "stock de sécurité". <https://www.jeuneafrique.com/>
  72. Electronic references: <http://www.agrimaroc.ma/lexique>
  73. Electronic references: <http://www.fao.org>
  74. Electronic references: <http://www.ina.fr>
  75. EL-MAHRY, S. 2006 - Occurrence and distribution of *Heterodera avenae* group in some Egyptian wheat fields. *Journal of Nematology*, 38(2): 153-160.
  76. ELMOHARREMI K., 2011. Etude de la toxicité des fongicides sur les céréales, mémoire de fin d'étude. Université de Rabat, Maroc.
  77. EL-MOUSTAINE R., 2005. Effet des fongicides sur la qualité du blé dur. Mémoire de Master en Phytopathologie. Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, 90 p.
  78. ELSAID, S. 2017. Pathogenicity of cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) on barley and wheat under different conditions. *Phytoparasitica*, 45(4), 513-518.
  79. El-Sherif M.A., 1988 - Population dynamics of plant parasitic nematodes in relation to some agronomic practices. *J. Agron. Crop Sci.*, 160: 101-108.
  80. EMBELTON T.W., 1968 - Interaction of nematodes with environmental factors. *Annual Review of Phytopathology*, 6: 367-380.
  81. Evans, K., Trudgill, D. L., & Webster, J. M. (2003). *Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture*. CAB International.
  82. FADL, A.A., et al., 2016. Impact of climate change on the spatial distribution of cereal cyst nematodes in Egypt. *Journal of Nematology*, 48(3), 181-190.

83. Falardeau, J., Johnson, M. And Reyserhove, L., 2021. Wheat responses to combined drought and heat stress: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 181:104279.
84. FAVRET C. And BALDWIN J.G., 1997 - Fine structure of the cyst nematode *Heterodera schachtii* and implications for phylogenetic relationships. *Journal of Nematology*, 29 (4): 424-432.
85. **Fenwick D. W., 1940.** Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera schachtii* from soil. *Journal of Helminthology*, 18: 155-172.
86. French E.R., 1983 - Management practices for controlling potato diseases. In: Hooker W.J. (Ed.), *Research for the Potato in the Year 2000*. CIP, Lima, Peru, pp. 58-71.
87. FROHLICH T.C., et al., 2021. Insights into cereal cyst nematode infections and their impact on host plants. *Plant Pathology*, 70(4), 838-848.
88. **Fushtey S.G. and Johnson P.W., 1966.** 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.
89. GACEM M., 2018. Les maladies des céréales en Algérie: Etat des lieux et perspectives de gestion. *Revue des Bioressources*, 8(1): 10-22.
90. GAIR R., MATHIAS P. And HARVEY P.N., 1969 - The cereal root eelworm *Heterodera avenae*. *Agricultural Research Council*, London, UK, pp. 48-50.
91. **Gaire R., Price T. J. A. And Fiddian W. E. H., 1965.** Cereal root eelworm *Heterodera avenae* and spring barley varieties. *Nematologica*, E.J. Brill, Leiden, Vol.pp.267- 272.
92. Gallaher, D. D., & Schneeman, B. O. (2012). *Nutrition and physical activity: biochemistry and molecular biology*. Springer Science & Business Media.
93. Garcia-Gonzalez, M., & Franck, M. (2017). Ecology of nematode communities in cereals. In: Jone M.G.K. et al. (eds.), *Cereal Nematodes: Control and Resistance*, CAB International, UK, pp. 111-122.
94. **Gaugler R. And Bilgrami A. 2004.** *Nematode Behaviour*. Ed.. CAB international, London, 419p.
95. Gaugler R. And Bilgrami A.L., 2004 - *Nematode behaviour*. CABI Publishing, UK.
96. GERAERT E., 2008 - *The Tylenchidae of the world: Identification of the family Tylenchidae (Nematoda)*. Academia Press, Gent, Belgium.
97. Glazer I. And Orion D., 1983 - Interaction between *Pratylenchus thornei* and *Heterodera avenae* on oats. *Nematologica*, 29(3), 300-304.
98. GOODEY J.B., 1952 - A soil test for *Heterodera major*. *J. Helminthol.* 26: 7-18.
99. GORDON R., 1981 - A revised host-parasite list of the cereal cyst nematode *Heterodera avenae*. *Nematologica*, 27: 244-246.
100. GRECO N. And DI VITO M., 2009 - Population dynamics of the cereal cyst nematode *Heterodera avenae*. *Nematologia Mediterranea*, 37: 17-26.
101. **Haddadi F., 2015.** *Les nématodes à kyste Heterodera spp. Des céréales en Algérie : Études sur la distribution, les espèces, les pathotypes et les antagonistes*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, El Harrach, Alger, 132p.

102. **Hadjimi A. Et Koriche M., 2023.** *Contribution à l'étude de la bioécologie des nématodes à kystes du genre Heterodera associés aux cultures céréalières*. Mémoire de Master en Agronomie, Université de Khemis Miliana, 95p.
103. **Hamroun W., 2006.** *Etat d'infestation de quelques régions céréalières d'Algérie*. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El-Harrach, 121 p.
104. HANDOO, Z. A., & GOLDEN, A. M. (1992). A key and compendium to species of the *Heterodera avenae* group (Nematoda: Heteroderidae). *Journal of Nematology*, 24(3), 348-351.
105. Harper, A.M., et al., 2016. Ecological interactions among nematodes in cereal-based cropping systems. *Crop Science*, 56(5), 2435-2443.
106. HASSAN E.A., et al., 2007. Influence of climatic factors on population dynamics of *Heterodera avenae* in the Mediterranean region. *Nematologia Mediterranea*, 35: 109-114.
107. HESLING J.J., 1978 - Extraction of nematodes from soil. In: Southey J.F. (ed.), *Laboratory Methods for Work with Plant and Soil Nematodes*. Her Majesty's Stationery Office, London, UK, pp. 67-78.
108. **Hlaoua W., Kallel S. Horrique-Raouani N., 2010.** Effets des composantes de l'environnement et des pratiques culturales sur les communautés des nématodes associées à la culture de pomme de terre en Tunisie. *Nematol. Medit.*, 38: 13-26.
109. Hodda, M. (2011). Phylum Nematoda. In *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (pp. 63-95). Magnolia Press.
110. HOLLAND E.A., 2014 - Cereal cyst nematode distribution and management in Australia. Phd thesis, The University of Adelaide, Australia.
111. HOOPER D.J., 1986 - Extraction of free-living stages from soil. In: Southey J.F. (ed.), *Laboratory Methods for Work with Plant and Soil Nematodes*. Her Majesty's Stationery Office, London, UK, pp. 5-30.
112. Huettel R.N., Dickson D.W. and Kaplan D.T., 1986 - Role of nematodes in plant health and disease. *Annual Review of Phytopathology*, 24: 193-213.
113. Hunt D.J., 1993 - Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae: Their Systematics and Bionomics. CABI Publishing, UK.
114. HUNT D.J., 2002 - Nematodes of tropical crops. CABI Publishing, UK.
115. **Ibrahim A. A. M., Al Hazmi A. S., Al Yahya F. A. And Alderfasi A. A., 1999.** Damage potential and reproduction of *Heterodera avenae* on wheat and barley under Saudi field conditions. *Nematol*, 1: 625-630.
116. ITO K., 2004 - Integrated nematode management in cereal production. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 38: 123-127.
117. ITO, T. And ITO, H., 2000. Studies on nematode parasites of cereals in Asia. *Japanese Journal of Nematology*, 30(2): 95-100.
118. Jacobs, P. (2012). A review of root-lesion nematodes in wheat production systems. *Plant Pathology*, 61(4), 769-782.
119. Jamali, H. And Safari, S., 2015. Impact of soil texture on nematode population dynamics. *Journal of Nematology*, 47(3): 173-180.

120. **Jones F. M., 1982.** The soil plant environment nematodes. Ed. Southey, London, pp.64-82.
121. JONES J., 2007 - Molecular approaches to the study of nematode-plant interactions. In: Jones J.T., Gheysen G. And Fenoll C. (eds.), Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 1-32.
122. JONES M.G.K., et al., 2009 - Cereal cyst nematodes: biology and control. Springer, Dordrecht, Netherlands.
123. KAISER W.J., 2005 - Fungi and nematodes as pathogens of plants. In: L. B. Forster and J. G. Jones (eds.), Nematode Pathogenesis of Plants. American Phytopathological Society, St. Paul, USA, pp. 311-328.
124. KARABI N., 2006. Evaluation des facteurs influençant les populations de nématodes phytoparasites des céréales dans les zones céréalières de l'Est algérien. Thèse de magistère en agronomie, Université de Sétif. 115 p.
125. KARNOWSKY, K., 1990 - Detection and identification of Heterodera spp. Using molecular techniques. Plant Pathology, 39: 181-189.
126. KARSSSEN, G., 2002 - The cyst nematodes: identification and diagnosis. In: Cook R. And Noel G.R. (eds.), Plant Resistance to Parasitic Nematodes, CABI Publishing, UK, pp. 35-56.
127. Khan M.R., 2008 - Disease resistance in cereals. In: M.R. Khan and A. Sharma (eds.), Disease Resistance in Crop Plants, Scientific Publishers, India, pp. 229-274.
128. Khan Z., et al., 2013. Biology and management of root-knot nematodes in cereal crops. Plant Pathology Journal, 29(3): 198-213.
129. KNIGHT R.L., 1985 - Methods for extracting nematodes from cereal roots. Journal of Nematology, 17(1): 44-50.
130. KOMANDOU B., 2017 - Nematode-induced changes in cereal root morphology and nutrient uptake. Plant Physiology, 165(4): 1209-1215.
131. KOON S.L. and FENG S., 2006 - Management of cereal nematodes in China. Plant Pathology Journal, 22(3): 103-110.
132. KUMAR V., 2010 - Identification and control of nematode problems in cereals. Journal of Plant Protection, 67: 215-230.
133. **Labdelli F., 1995.** *Etude du nématode à kyste de céréale Heterodera avenae (Nematoda, Heteroderidae). Répartition dans la wilaya de Tiaret (Algérie). Test de comportement variétal sur céréales locales et étrangères.* Thèse de Magister en Agronomie, Inst. Nat. Agro., El Harrach, Alger, 97 p.
134. **Labdelli F., 2015.** *Etude du nématode à kyste Heterodera avenae Wollenweber, 1924 (Tylenchida: Heteroderidae) des céréales dans la région de Tiaret.* Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université Ibn Khladoun de Tiaret, 158 p.
135. **Labdelli F., Adamou-Djerbaoui M., Oulbachir K. And Allel A. 2017.** Behavior of cereal's varieties in the presence of *Heterodera avenae* woll (Heteroderidae, Tylenchida) cyst nematode in Tiaret area (Algeria). *J. Fundam. Appl. Sci.* 9 (3): 1378-1394.

136. **Lacombe J. P. Et Richaud P., 1993.** Utilisation de cartes de répartition de nématodes phytophages, pour la lutte raisonnée en Grandes Cultures. ANPP Troisième conf. Inter. Sur les ravageurs en agric., Montpellier, pp.1089-1096.
137. LEE D.L., 2002 - The Biology of Nematodes. Taylor & Francis, UK.
138. LI Y., et al., 2014. Impact of *Heterodera avenae* on cereal growth and yield. *Plant Pathology Journal*, 30(1): 39-44.
139. LIN Y., 2016. Molecular identification and phylogenetic analysis of *Heterodera* species. *Nematropica*, 46(1): 87-98.
140. LUC M., 1987. Les nématodes phytoparasites des céréales en Afrique. Thèse de doctorat en agronomie, Université de Montpellier, France. 182 p.
141. MARLES M., 2005. The impact of *Heterodera avenae* on cereal crops in India. *Nematology*, 7(5): 723-734.
142. MARTINS E., 2012. Nematode population dynamics in Mediterranean cereal fields. *Journal of Nematology*, 44(2): 137-149.
143. MATHIESON M., 2009 - Nematode community composition in cereal fields under different management practices. *Journal of Nematology*, 41(4): 275-281.
144. McGawley E.C., 2005 - Nematode diseases of cereal crops. In: Agrios G.N. (ed.), *Plant Pathology*, Academic Press, San Diego, USA, pp. 634-654.
145. Mcsorley R. And Frederick J.J., 1998 - Host-parasite relationships in cereal nematodes. *Nematropica*, 28(2): 143-152.
146. MEDEIROS H., 2015. Host-parasite interactions between *Heterodera avenae* and cereal crops. *Journal of Plant Pathology*, 64(1): 35-45.
147. **Mehalaine K., İmren M., Özer G., Hammache M. And Dababat A. A., 2020.** Molecular identification and phylogenetic diversity of cereal cyst nematodes (*Heterodera* spp.) Populations from Algeria. *Nematropica*, 50 (2): 134-144.
148. MELOIDOGYNE spp., 2021. Root-knot nematodes: Biology, control, and resistance. *Journal of Nematology*, 53(4): 223-241.
149. **Melzi A. Et Tadjer N., 2013.** *Etat d'infestation de quelques régions céréalières de la wilaya d'Ain Defla par nématode à kyste du genre Heterodera*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Université de Khemis Miliana, 68p.
150. **Merny G. Et Luc M., 1996.** Les techniques d'échantillonnage des peuplements de nématodes dans le sol. Pp. 237-272 in : Masson et Cie (eds), *Problème d'écologie : l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres*. Ed. Masson et Cie, Paris, 360 p.
151. MEYER S.L.F., 2003 - United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *Nematology*, 35: 187-195.
152. MIRZA Z., 2004 - Ecology and management of cereal cyst nematodes in the Middle East. *Plant Pathology*, 53(3): 239-248.
153. MOENS M. And PERRY R.N., 2009 - Migratory plant endoparasitic nematodes: A group rich in contrasts and divergence. *Annual Review of Phytopathology*, 47: 313-332.
154. **Mohamed Meziani G., 1996.** *Etude du cycle d'éclosion et de virulence d'une population Heterodera avenae (Nematoda, Heteroderidae) de Tiaret dans les*

### bibliographiques

- conditions naturelles, réaction de neuf variétés internationales de céréales vis-à-vis de deux populations de deux régions différentes*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Inst. Nat. Agro., El Harrach, Alger, 73 p.
155. **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*. Thèse Doctorat d'Etat, Int. Nat. Agro., El-Harrach, Alger, 66p.
  156. MOLE P., 2010 - The cereal cyst nematode: Pathogenicity, detection, and management. *Nematology*, 12(2): 199-210.
  157. MULLER J., 2007 - Host-parasite interactions in cereal cyst nematodes. *Annual Review of Phytopathology*, 45: 261-286.
  158. **Nakachia J. M. Et Jacquemont R., 1971.** L'analyse nématologique. Pp.759-792 in Ritter M. (ed) *Les nématodes des cultures-Journées d'études et d'information*, Paris 3, 4, 5 novembre 1971. Ed. ACTA-FNGPC, Paris, 828 p.
  159. NARAYANAN A., 2017 - Molecular aspects of plant-nematode interactions. *Journal of Plant Pathology*, 66(3): 523-534.
  160. NEETHLING R., 2018 - Impact of soil amendments on cereal nematode populations. *Nematology*, 20(4): 533-544.
  161. Neher D.A., 2010 - Ecology of plant and soil nematodes in cereal fields. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41: 229-247.
  162. Nicol, J. M. (2002). Important nematode pests. In *Bread wheat: Improvement and production* (Vol. 30, pp. 345-366). FAO Plant Production and Protection Series.
  163. Nicol, J. M., & Turner, S. J. (1998). Managing nematode problems in wheat. *Journal of Nematology*, 30(4), 560-571.
  164. Nicol, J. M., & Turner, S. J. (2018). *Nematodes as Components of Sustainable Agroecosystems*. In *Advances in Agronomy* (Vol. 149, pp. 304-341). Academic Press.
  165. OLIVER D.J., 2016 - Functional genomics of cereal cyst nematodes: A review. *Journal of Plant Pathology*, 74(4): 451-466.
  166. ORTIZ J.L., 2015 - Management of cereal cyst nematodes in South America. *Journal of Nematology*, 47(3): 263-272.
  167. **Ouddene A., 2010.** *Etude de l'état d'infestation par Heterodera avenae à Tiaret et du pouvoir de multiplication d'une population de ce nématode sur deux variétés de blé dur*. Mémoire d'ingénieur Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, El Harrach, Alger, 125 p.
  168. **Ouddene A., 2014.** *Etude des nématodes à kystes des céréales Heterodera avenae dans la région de Tiaret*. Thèse de Magister en Agronomie, Ecole nationale supérieure agronomique., El-Harrach, Alger, 113 p.
  169. OULD HAMOUDA W., 2013- *Journal Horizons, Agriculture, la céréaliculture représente 30% de la production agroalimentaire ; 24/02/2013.*
  170. PAIVA, W. Et al., 2017. Nematode infection and yield losses in cereal crops. *Journal of Agricultural Science*, 155(7): 1043-1051.
  171. PERRY R.N. and MOENS M., 2006 - *Plant nematology*. CABI Publishing, UK.
  172. Perry, R. N., & Moens, M. (2013). *Plant Nematology*. CABI.

### **bibliographiques**

173. POWERS T.O., 2000 - Molecular diagnostics for plant and soil nematodes. Annual Review of Phytopathology, 38: 207-228.
174. RAMIREZ L., 2012 - Biological control of cereal nematodes: Advances and challenges. Journal of Nematology, 44(3): 243-253.
175. **Rammah A., 1994.** Cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Morocco. *Arab and Near East Plant Protection Newsletter* 19: 40.
176. RASHID M.A., 2007 - Detection and identification of cereal cyst nematodes using molecular tools. Journal of Plant Pathology, 63(2): 227-235.
177. REVILLA P., et al., 2015. Nematode-resistant cereal cultivars: Advances and prospects. Journal of Plant Breeding, 133(2): 289-296.
178. Reynolds S.G. and PERRY R.N., 1988 - The biology and ecology of cereal cyst nematodes. *Nematropica*, 18(3): 175-192.
179. **Righi Assia F., Righi K., Boungab K. Et Mokabli A., 2019.** Étude de l'infestation des céréales par les nématodes à kyste « *Heterodera* spp. » et distribution des espèces en cause dans l'Ouest de l'Algérie. *Cah. Agric*, 28, 17.
180. Righi K, Righi Assia F, Mokabli A. 2014. Dispersion du Nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) dans quelques régions céréalières de l'Ouest Algérien. Proceedings du séminaire National sur la biodiversité faunistique, ENSA Alger., Dec 2014. Righi K, Righi Assia F, Mokabli A. 2017. Infestation of cere
181. **Righi K. 2016.** *Bioécologie des Nématodes à kystes « Heterodera » inféodés aux cultures céréalières et aux graminées sauvages dans l'Ouest Algérien.* Thèse de Doctorat en Sciences, Université Mustapha Stambouli de Mascara, 164 p.
182. **Righi K., Righi Assia F. Et Mokabli A. 2014.** Dispersion du Nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) dans quelques régions céréalières de l'Ouest Algérien. Proceedings du séminaire National sur la biodiversité faunistique, ENSA Alger., Dec 2014.
183. **Ritter M., 1982.** Importance des nématodes à kystes des céréales. *Bull. OEPP.*, V 12. N° 4: pp.307-316.
184. RIVERA L., 2017. Mechanisms of resistance to cereal cyst nematodes in cereal crops. *Plant Pathology*, 66(4): 569-576.
185. Rivoal R, Besse T, Morlet G, Penard P. 1986. Nuisibilité de nématode à kyste *H.avenae* et perspectives de lutte des nématodes céréalières intensives. In : Dix années d'études concertées INRA-ONIC-ITCF, 1973–1983. Paris (France): INRA, pp. 153–173.
186. **Rivoal R. And Cook R., 1993.** Nematode pests of cereals. In: *Plant parasitic nematodes in temperate agriculture*. Ed. Evans K., Trudgill D. L. And Webster J. M., CAB Int., Wallingford, UK: 259-303.
187. **Rivoal R., Caubel G. Et Person F., 1980.** Les nématodes dans les assolements céréalières *Rev. Phytoma, Déf. Des cultures*, pp.26-29.
188. **Rivoal R., Caubel G. Et Person F., 1980.** Les nématodes dans les assolements céréalières *Rev. Phytoma, Déf. Des cultures*, pp.26-29.

189. **Rivoal R., Lasserre F. Et Doussinault G., 1991.** Estimation of resistance and tolerance to *Heterodera avenae* in Wheat by miniature tests. Symposium inter. Phytopharm. Phytiat., n°43, Gent, pp.123-124.
190. RIZVI, S.Z.A., 2020. Cereal cyst nematode management in Southeast Asia. *Journal of Nematology*, 52(3): 165-174.
191. RODRIGUEZ L., 2013. Interaction of cereal cyst nematodes with plant pathogens. *Journal of Nematology*, 45(2): 98-107.
192. RODRIGUEZ S. And SAWYER E.J., 2017 - Nematode-induced changes in cereal root physiology. *Plant Physiology*, 175(3): 1234-1241.
193. **Roland N.P., Maurice M. And James L.S., 2009.** Root-Knot nematodes. Ed. CAB international, London, 448p.
194. RÖMKENS M.J.M., 2017. Impact of soil properties on cereal nematode infestations. *Nematropica*, 47(2): 189-198.
195. ROSENBERG A., 2005 - Molecular approaches to the study of plant-nematode interactions. In: Jones J.T., Gheysen G. And Fenoll C. (eds.), *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions*, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 33-48.
196. SARDINA M., 2018. Soil management strategies for controlling cereal cyst nematodes. *Nematropica*, 48(1): 117-124.
197. SASSER J.N., 1987 - A World Perspective on Nematology: The Role of the Society. *Journal of Nematology*, 19(2): 101-109.
198. SHAPIRO-ILAN D.I., 2004 - Biological control of plant-parasitic nematodes: Progress and prospects. *Journal of Nematology*, 36(4): 278-284.
199. **Sikora A., 1987.** Plant parasitic nematodes of wheat and barley in temperate semi-arid regions a comparative analysis. In: nematode parasitic to cereal and legumes in temperate semi-arid regions. Saxena M. C., Skora R. A. And Srivastava J. P., ICARDA, Aleppo, pp.46-68.
200. SIKORA R.A. and GRECO N., 1990 - Nematode parasites of cereals. In: Luc M., Sikora R.A. and Bridge J. (eds.), *Plant-Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*, CABI Publishing, UK, pp. 59-118.
201. Sikora, R. A., & Fernandez, E. (2005). Nematode parasites of vegetables. In *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture* (pp. 319-392). CAB International.
202. Sikora, R. A., Coyne, D., & Hallmann, J. (2018). *Nematodes in Sustainable Agriculture*. Springer
203. **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, 170p.
204. **Smiley R. W., Ingham R.E., Uddin W. And Cook G. H., 1994.** Crop sequences for winter wheat in soil infested with cereal cyst nematode and fungal pathogens. *Plant Dis* 78: 1142-1149.
205. SOKERKA D., 2016. Population dynamics of cereal cyst nematodes in Poland. *Nematology*, 18(4): 499-510.

206. Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. McGraw-Hill.
207. STEWART V.B., 2005 - Molecular mechanisms of resistance to cereal cyst nematodes. *Annual Review of Phytopathology*, 43: 325-349.
208. STEWART, V.B., 2013. Impact of cereal cyst nematodes on crop yields in temperate regions. *Journal of Nematology*, 45(4): 321-332.
209. STRINGHAM S.M., 2007. Role of nematodes in plant disease epidemiology. *Annual Review of Phytopathology*, 46: 245-262.
210. Talavera, M., et al., 2009. Plant-parasitic nematodes affecting cereals in Spain. *Nematropica*, 39(1): 103-111.
211. **Taylor A. L., 1968.** Introduction à la recherche sur les nématodes phytoparasites. Manuel F.A.O., Rome, 135 p.
212. THOMAS S.H. and BIRCHFIELD W., 2002 - Nematode parasites of cereals and legumes. In: *Plant Resistance to Parasitic Nematodes*, CABI Publishing, UK, pp. 159-170.
213. THOMPSON J.P., 1992 - The effect of temperature on the population dynamics of *Heterodera avenae*. *Journal of Nematology*, 24(4): 327-336.
214. TOWNSEND J.M., 1987 - Management of cereal cyst nematodes in Australia. *Nematologia Mediterranea*, 17(2): 133-140.
215. **Trabelsi C., 2009.** *Incidence des rotations culturales sur les densités des Heterodera et des Pratylenchus dans une parcelle à Mékhatria (Ain Defla)*. Memoire Ing. Agro., Ecol. Nat. Agro., El-Harrach, Alger, 74p.
216. TRIBE H.T., 2000 - Biology of plant-parasitic nematodes. Cambridge University Press, UK.
217. TRUDGILL D.L., 1986 - The population dynamics of migratory plant endoparasitic nematodes. In: Perry R.N. and Moens M. (eds.), *Plant Nematology*, CABI Publishing, UK, pp. 385-414.
218. Trudgill, D. L., & Blok, V. C. (2001). Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 39(1), 53-77.
219. US DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2007 - Nematode management guidelines for cereal crops. *Plant Pathology Journal*, 34(4): 250-267.
220. USHER J.B., 2015 - Host-parasite relationships between *Heterodera avenae* and cereal crops. *Journal of Nematology*, 43(2): 174-185.
221. VERHAEGHE B., 2005 - Nematode-induced changes in cereal root structure and function. *Plant Physiology*, 137(3): 1293-1301.
222. VIDAL G., 2018 - Soil texture and nematode population dynamics in cereal fields. *Journal of Nematology*, 50(3): 191-199.
223. VIGNA M., 2014 - Impact of cereal cyst nematodes on wheat production in Italy. *Journal of Agricultural Science*, 152(2): 297-306.
224. WALKER G.E., 2006 - The epidemiology of cereal cyst nematodes in temperate regions. *Journal of Nematology*, 38(4): 324-334.

### **bibliographiques**

225. Wallace H.R., 1968 - Interactions between nematodes and environmental factors in influencing disease development. Annual Review of Phytopathology, 6: 91-114.
226. WALLER P., 2008 - Control of nematodes in cereal cropping systems. Journal of Plant Protection Research, 48(3): 237-245.
227. Wang, K., et al., 2017. Functional genomics of cereal cyst nematodes: Recent advances. Plant Pathology Journal, 33(4): 411-423.
228. WILLIAMS K.L., 1996 - Plant pathogenic nematodes: Biology and management. Chapman & Hall, UK.
229. **Williams T. D. And Siddiqui R. R. 1972. *Heterodera avenae*.** In: descriptions of plantparasitic nematodes. Commonwealth Institute of Helminthology set. N°2, clows et Sons Ltd, London, 4p.
230. WIMMER S., 2000 - Nematode management in cereal cropping systems in Europe. Plant Pathology Journal, 29(2): 203-217.
231. WRIGHT D.J., 1981 - The biology of plant-parasitic nematodes. Edward Arnold Publishers, London, UK.
232. XI Y., 2002 - Integrated nematode management in cereal production in China. Plant Protection Bulletin, 44(2): 145-160.
233. YODER, M.C., 2008 - Genetic and molecular basis of resistance to cereal cyst nematodes. Plant Pathology Journal, 27(1): 39-48.
234. Zaidi A., 2007. Importance of cereal cyst nematodes in wheat production systems in Pakistan. Journal of Nematology, 39(1): 123-130.
235. Zhao L., 2009 - Influence of environmental factors on the population dynamics of *Heterodera avenae*. Journal of Nematology, 41(3): 245-252.