

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE BLIDA I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Biotechnologies

Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme de Master académique en
Sciences de la Nature et de la Vie

Option : Phytoprotection Durable

Thème

**Contribution à l'étude des infestations des céréales par le
nématode à kystes *Heterodera* dans la région de Tiaret**

Présenté par :

M^{me} Amrani Soumia

Jury

M ^{me} Ammad F.	MCA	U. Blida I	Présidente
M ^{me} Sabri K.	MAA	U. Blida I	Examinatrice
M ^{me} Nebih D.	MCB	U. Blida I	Promotrice
M ^r Boukharcha L.	Doctorant	U. Blida I	Co-promoteur

Année Universitaire 2017/2018

DEDICACES

C'est avec un grand honneur que je dédie ce modeste travail aux deux personnes qui se sont sacrifiés pour que je grandisse avec un savoir-faire, qui m'ont appris à ne jamais baisser les bras, qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, sans lesquels je n'y serais jamais parvenue et qui je ne remerciais assez ; Mes très chères ; papa et maman.

À la mémoire de mon grand père.

À Mon mari, Ma belle-mère et Ma belle famille.

À Mes sœurs : Imene, Rihab et Amira pour leur courage et le soutien qu'elles m'ont apporté.

À Mon frère : Ramdane.

À la petite Bouchra.

À mes amies les plus proches de mon cœur: Asma et Zineb.

À tous mes collègues de la promotion Phytoprotection Durable.

Soumia

Remerciement

Il est toujours délicat de remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail de recherche. Que ceux qui ne sont pas mentionnés ne m'en tiennent pas rigueur.

A l'issue de ce modeste travail, je tiens à remercier tout d'abord mon bon DIEU tout puissant, de m'avoir procuré force, patience et volonté pour aboutir et pour son aide miséricordieuse durant toutes mes années d'étude.

*Il m'est particulièrement agréable d'adresser mes remerciements à ma promotrice Docteur **Nebih D.** au département de Biotechnologie de l'université de Blida I, pour m'avoir guidé et conseillé, pour toute son aide, sa patience, son soutien et ses précieux conseils qui m'ont été tout le temps fructueux et qui m'ont permis de réaliser ce travail.*

*Je remercie très sincèrement Docteur **Ammad F.** de l'université de Blida I, pour m'avoir fait le grand honneur de présider le jury.*

*J'adresse mes vifs remerciements à mon co-promoteur **Mr Boukhercha L.** doctorant à l'université de Blida I, pour son aide précieuse dans l'échantillonnage et la synthèse bibliographique je vous exprimer ma gratitude.*

*Mes vifs remerciements vont à **M^{me} Sabri K.** Maître Assistante A. à l'université de Blida I, de m'avoir honoré en acceptant d'examiner ce travail.*

*Je remercie **M^{me} Djamaï Amina** la responsable du laboratoire de zoologie à l'université de Blida I, pour son aide.*

Je remercie également ma famille pour m'avoir enseigné le courage, l'humilité, la persévérance et la rigueur. J'adresse des remerciements particuliers à mon père pour ses conseils et sa

compréhension qui m'a toujours soutenue dans mes études, à ma mère pour son soutien à tout moment et à mes sœurs et mes frères.

*Mes remerciements vont tout particulièrement à mon **Mari** pour ses conseils et sa compréhension. Je remercie également ma belle famille.*

Mes chères amies Asma et Zineb, vous avez réussi à me supporter pendant mes phases de stress intense et vous avez toujours trouvées les mots justes, Merci tout plein.

Je tiens aussi à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Contribution à l'étude des infestations des céréales par le nématode à kystes *Heterodera* dans la région de Tiaret

Résumé

Notre travail a porté sur l'évaluation des taux d'infestation des cultures de céréales par le nématode à kyste *Heterodera* dans cinq stations de la wilaya de Tiaret. Le taux d'infestation le plus élevé est observé dans la région de Rahwiya (35,10%), suivi par la station de Frenda (26,06%). Alors que pour les trois dernières stations Sid el Hosni, Sidi Amar et Houara les taux d'infestations par *Heterodera* sont inférieurs à 20%. Le taux d'infestation varie selon les formes des kystes (plein ou ouvert) et en fonction des stations prospectées. Les kystes ouverts abondent dans les sols du site de Frenda. En ce qui concerne les kystes pleins, le taux le plus élevé est enregistré dans la région de Rahwiya (37,5%). Par ailleurs, les taux d'infestation varient en fonction du type de culture de céréales. Nous constatons que le blé dur est un hôte favorable à la multiplication de ce phytoparasite que le blé tendre. Cependant, la jachère inhibe le développement des nématodes à kyste.

Les taux d'infestations varient en fonction du type de sol : les sols limoneux argileux, limoneux et argileux limoneux sableux participent faiblement à la multiplication des nématodes à kystes. Alors que, les sols limoneux sableux et argileux sableux semblent agir sur l'éclosion de ces nématodes.

Mots clés : Nématode à kystes, taux d'infestation, céréales, variétés, haut plateau.

Abstract

Our work focused on the evaluation of cereal infestation rates by the Heterodera cyst nematode in five stations of the Tiaret wilaya. The highest infestation rate is observed in the Rahwiya region (35.10%), followed by the frenda station (26.06%). Whereas for the last three stations, Sid el Hosni, Sidi Amar and Houara, infestation rates by Heterodera are below 20%. The rate of infestation varies depending on the forms of cysts (full or open) varies depending on the stations surveyed. Open cysts abound in the soils of the Frenda site. For open cysts, the highest rate is recorded in the Rahwiya region (37.5%). Infestation rates vary depending on the type of cereal crop. We find that durum wheat is a favorable host for the multiplication of this phytoparasite than soft wheat. However, fallowing inhibits the development of cyst nematodes. Infestation rates vary according to soil types: loamy sandy loamy soils contribute little to the growth of cyst nematodes, whereas sandy loam and sandy loamy soils appear to act as clusters of cystic nematodes. These nematodes.

Key words: Cyst nematode, cereals, varieties, high plateau.

المساهمة في دراسة تفشي الحبوب عن طريق الديدان الخيطية ذات الأكياس *heterodera* في منطقة تيارت

ملخص

ركز عملنا على تقييم معدلات إصابة محاصيل الحبوب بالديدان الخيطية ذات الأكياس ايتيروديرا في خمسة محطات من ولاية تيارت. لوحظت اعلي نسبة إصابة في منطقة الرحوية (35.10%), تليها محطة فرندا (26.06%). في حين إن المحطات الثلاث الأخيرة سيدي الحسن, سيدي عمار و الهوارة, معدلات الإصابة من قبل ايتيرودرا تقل عن 20%. يختلف معدل الإصابة باختلاف أشكال الأكياس كاملة أو مفتوحة باختلاف المحطات التي تم مسحها. تكثر الأكياس المفتوحة في تربة موقع فرندا. بالنسبة إلى الأكياس المفتوحة, يتم تسجيل أعلى معدل في منطقة الرحوية 37.5%. تختلف معدلات الإصابة تبعاً للنوع محصول الحبوب, نجد أن القمح الصلب هو عبارة عن مضيف ملائم لتكاثر هذا الطفيلي النباتي مقارنة بالقمح اللين, بينما الأرض المحروثة تمنع تطور الديدان الخيطية. تختلف معدلات الإصابة باختلاف أنواع التربة: الطفيلية, الطفيلية الرملية, الطينية الرملية, الطينية لاتسهم كثيراً في نمو الديدان الخيطية في الكيس, في حين أن التربة الرملية و التربة الطفيلية الرملية تظهر كمجموعات من النيماتودا الكيسية

الكلمات المفتاحية: الديدان الخيطية ذات الأكياس, الحبوب, الأصناف, الهضبة المرتفعة.

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des Figures

Figure 1	Carte la répartition de la production des céréales dans le monde en 2008.....	5
Figure 2	Les zones céréalières en Algérie.....	7
Figure 3	Cycle de développement du blé.....	10
Figure 4	Dégâts occasionnent par les nématodes à galles (<i>Meloidogyne</i>) sur les carottes.....	14
Figure 5	Morphologie d' <i>Heterodera avenae</i>	18
Figure 6	Les œufs d' <i>Heterodera</i>	18
Figure 7	Morphologie de larves (L2) de nématodes à kyste.....	19
Figure 8	Les kystes d' <i>Heterodera sp.</i>	20
Figure 9	Cycle de vie des nématodes à kyste des céréales.....	21
Figure 10	Symptômes d' <i>Heterodera sp.</i> observés au niveau des feuilles (un rougissement et un jaunissement des feuilles).....	22
Figure 11	Symptômes d' <i>Heterodera sp.</i> observés au niveau des racines, à droite la plante attaquée et à gauche la plante saine.....	23
Figure 12	Kyste d' <i>Heterodera sp.</i> parasité par un champignon.....	29
Figure 13	Situation géographique de la région d'étude.....	31
Figure 14	Variations annuelles des quantités de pluies enregistrées dans la région de Tiaret durant la période de 2005 à 2014.....	32
Figure 15	Méthode d'échantillonnage du sol.....	35
Figure 16	Le matériel utilisé pour l'extraction des kystes de genre <i>Heterodera</i> . (Original.).....	36
Figure 17	Appareil de FENWICK et technique d'extraction des kystes. (Original.).....	37

Figure 18	Les étapes d'extraction des kystes d' <i>Heterodera</i> (Original).....	38
Figure 19	La récolte et le dénombrement des kystes sous la loupe binoculaire (Original).....	39
Figure 20	Les kystes pleins (A) et les kystes ouverts (B) sous la loupe binoculaire (Gr. X20 ou Gr. X40)(Original).....	39
Figure 21	Variation des infestations en fonction des stations.....	41
Figure 22	Les taux d'infestation selon les types de kyste.....	42
Figure 23	Taux d'infestation des types de kyste en fonction des stations....	43
Figure 24	Variation des infestations en fonction des stations et du type de kyste.....	44
Figure 25	Variation des infestations en fonction des cultures.....	44
Figure 26	Variation des infestations du type de kyste en fonction des cultures.....	45
Figure 27	Variation des infestations en fonction des différents types de sol.....	46

Liste des tableaux

Tableau 1	Les maladies des céréales.....	10
Tableau 2	Les ravageurs animaux sur céréales.....	12
Tableau 3	Moyennes mensuelles des températures de la période 2005 à 2014 dans la région de Tiaret.....	33
Tableau 4	Taux d'infestation selon la forme de kyste.....	43
Tableau 5	Modèle G.L.M. appliquée à la variation du taux d'infestation par <i>Heterodera</i> selon les cultures.....	45

TABLE DE MATIERES

Dédicace

Remerciement

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des illustrations

Table de matières

Introduction générale

Chapitre I : Donnée bibliographique sur la plante hôte

I.1.	Historique.....	3
I.2.	Importance de la céréaliculture dans le monde.....	4
I.3.	Importance de la céréaliculture en Algérie.....	5
I.4.	Aire de répartition et production céréalière.....	6
I.5.	Cycle de développement des céréales.....	7
I.5.1.	Période végétative.....	8
I.5.1.1.	Phase de germination	8
I.5.1.2.	Phase semi-levée.....	8
I.5.1.3.	Phase levée - début du tallage.....	8
I.5.2.	Période reproductrice.....	8

I.5.2.1.	Phase Tallage herbacé – Gonflement.....	8
I.5.2.2.	Phase Epiaison – Floraison.....	9
I.5.3.	Période de maturation.....	9
I.5.3.1.	Phase pâteuse	9
I.5.3.2.	Phase de dessiccation.....	9
I.6.	Les maladies des céréales	10
I.7.	Les Bio-agresseurs animaux.....	11

**Chapitre II : Synthèse bibliographiques des nématodes à kystes
(*Heterodera sp.*)**

II.1.	Généralité sur les nématodes.....	13
II.2.	Les nématodes à kystes des céréales <i>Heterodera sp.</i>	14
II.3.	Position systématique des nématodes à kystes.....	15
II.4.	Répartition et importance économique d' <i>Heterodera sp.</i>	16
II.4.1.	Répartition d' <i>Heterodera sp.</i>	16
II.4.1.1.	Dans le monde.....	16
II.4.1.2.	En Algérie.....	16
II.4.2.	Importance économique d' <i>Heterodera sp.</i>	16

II.5.	Morphologie d' <i>Heterodera sp.</i>	17
II.5.1.	Les œufs.....	18
II.5.2.	Les larves.....	19
II.5.3.	Le kyste.....	19
II.6.	Cycle de développement d' <i>Heterodera sp.</i>	20
II.7.	Symptomatologie.....	21
II.7.1.	Symptômes en plein champ.....	21
II.7.2.	Symptômes Sur la plante.....	22
II.7.2.1.	Symptômes sur la partie aérienne.....	22
II.7.2.2.	Symptômes sur la partie radiculaire.....	22
II.8.	Dégâts et pertes.....	23
II.9.	Méthodes de lutte.....	24
II.9.1.	Méthodes préventives.....	24
II.9.2.	Méthodes curatives.....	24
II.9.3.	Méthodes culturales.....	24
II.9.3.1.	Le désherbage.....	24

II.9.3.2.	La date de semis.....	24
II.9.3.3.	La jachère.....	25
II.9.3.4.	La fertilisation et les amendements.....	25
II.9.3.5.	Les rotations.....	26
II.9.3.6.	Les variétés résistantes.....	26
II.9.4.	Méthodes chimiques.....	27
II.9.5.	Méthodes biologiques.....	27
II.9.5.1.	Champignons antagonistes des nématodes à kystes des céréales.....	28
II.9.5.2.	Champignons prédateurs.....	28
II.9.5.3.	Champignons parasites.....	28
II.9.5.4.	Endoparasites obligatoires.....	29
II.9.5.5.	Endoparasites facultatifs.....	29
II.9.6.	Lutte intégrée.....	30

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1.	Objectif.....	31
III.2.	Présentation de la région d'étude	31

III.3.	Caractéristiques climatiques de la région	32
III.3.1.	Pluviométrie	32
III.3.2.	Température	33
III.4.	Analyse nématologique.....	33
III.4.1.	Sites d'échantillonnage.....	34
III.4.2.	Méthodologies.....	34
III.4.2.1.	Echantillonnage du sol	34
III.4.2.2.	Techniques d'extraction des kystes du sol.....	35
III.4.3.	la récupération et comptage des kystes.....	38
III.5.	Exploitation des résultats.....	40

Chapitre IV. Résultats et discussion

IV.1.	Variation des taux d'infestations des parcelles de céréales par les nématodes à kystes <i>Heterodera</i> selon les stations.....	41
IV.2.	Variation des taux d'infestations selon la forme des kystes dans les régions prospectées.....	41
IV.3.	Analyse de la variance Model GLM sur la répartition des formes de kyste selon les stations.....	43
IV.4.	Variation des taux d'infestation en fonction des cultures.....	44
IV.5.	Variation des taux d'infestation des types de kystes en fonction des cultures.....	45
IV.6.	Variation des taux d'infestation des céréales en fonction du type de sol.....	46
IV.7.	Discussion.....	47
	Conclusion.....	49
	Références bibliographique.....	50

Introduction

Introduction

Les céréales sont les principales sources de la nutrition humaine et animale dans le monde. D'ailleurs, 692 millions d'hectares de céréales ont été cultivés dans le monde, soit plus de 15 % de la surface agricole mondiale avec une production de 2,316 milliards de tonnes (USDA, 2012). De par l'importance des superficies occupées et par son rôle dans la sécurité alimentaire des pays, la céréaliculture occupe une place prépondérante à la fois dans la production agricole et agroalimentaire de l'Algérie (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

En Algérie, les céréales (blé dur, blé tendre, orge et triticales) occupent en moyenne 3,5 millions d'hectares pratiqués par près de 600 000 producteurs soit plus de 35% des terres arables (Rastoin et Benabderrazik, 2014). La production Algérienne des céréales est confrontée à plusieurs contraintes biotiques et abiotiques d'ordres climatiques et phytosanitaires. Ainsi, durant les 40 dernières années, on enregistre un écart de 1 à 5 millions de quintaux de production des céréales avec une année désastreuse (9,7 millions de quintaux en 1994) et une année d'abondance (52,5 millions de qx en 2009) (FAO, 2013).

Au niveau des hauts plateaux, la céréaliculture est la plus pratiquée notamment dans la région de Tiaret, jadis appelée le grenier de l'Algérie. Parmi les obstacles qui entravent la culture des céréales dans cette région, il est à citer les aléas climatiques (la variation de la température et la faible pluviométrie). A cela, s'ajoutent les bio-agresseurs qui affaiblissent les productions des céréales, notamment les nématodes phytoparasites. Les pertes des productions agricoles dues aux nématodes ont été estimées à 10% de la production mondiale (Whitehead, 1998). Les nématodes associés aux céréales sont nombreux mais les nématodes à kystes *Heterodera sp.* constituent l'un des plus importants groupes de nématodes dans le monde (Rivoal et Cook, 1993). Les chutes de rendement dues à ce phytoparasite varient selon les pays. Elles sont de l'ordre de 50% aux USA (Smiley *et al.*, 1994) et au Canada (Caubal *et al.*, 1980), de 30 à 40% en Angleterre (Reddy, 1983), de 30 à 50% en Russie (Shiabova, 1982), de 40 à 50% en Maroc (Rammah, 1994), de 20 à 40% en Australie (Meagher et Brown, 1974) et en Tunisie les pertes varient de 19 à 86% pour l'orge et 26% à 96% pour le blé (Namouchi-Kachouri *et al.*,

Introduction

2008). Greco et *al.*, (1993) estiment une perte de 2.6 milliards de lire italienne de rendement suite aux attaques d'*Heterodera*.

En l'Algérie, le nématode à kyste *Heterodera avenae* inféodé aux cultures céréalières est l'espèce la plus redoutable en raison de sa large distribution dans les zones céréalières (Labdelli, 1995; Righi et *al.*, 1998 ; Haddadi, 1999; Mokabli, 2001 ; 2002; Ouanighi, 2004 et Hamroun, 2006). Cette large répartition augmente la possibilité des risques dus à ces nématodes (Mokabli, 2006).

Il s'agit là des premières informations disponibles sur ce parasite, les études sur ce bio-agresseur reste encore infime et ce nématode est encore méconnu par les agriculteurs. Vu l'importance économique aussi bien des céréales et les dégâts causées par le genre *Heterodera* et le manque d'information sur l'état d'infestation des parcelles ; nous avons jugés utile de réaliser cette approche dont les objectifs sont :

- Evaluation du degré d'infestation des cultures de céréales dans quelques communes de la wilaya de Tiaret.
- Variation des taux d'infestation du parasite selon les cultures de céréales, selon la forme des kystes, selon les régions d'étude, selon le type de sol et selon le type de culture de céréales.

I.1. Historique

Selon Feldman, 1976, Les premières évidences archéologiques de récolte de céréales datent d'un peu moins de 8000 ans avant J.-C. et se trouvent au Moyen-Orient dans le « croissant fertile » comprenant la Mésopotamie, la Turquie, la Palestine. A cette époque, l'engrain (*Triticum boeoticum*) et l'amidonier (*Triticum dicoccoïdes*) faisaient l'objet de cueillette (Doussinault *et al.*, 1992). Le passage d'une civilisation de nomades à celle des agriculteurs sédentarisés est le résultat de la domestication progressive de graminées cultivées. Le blé est devenu indissociable de la culture Européenne, tout comme le maïs, le riz et le sorgho qui sont des cultures de l'Amérique latine, de l'Asie et de l'Afrique (Feillet, 2000). La culture de céréales en Algérie semble remonter à la plus haute antiquité, approximativement au 12^{ème} siècle avant J.-C. et constituait la spéculation essentielle du pays (Anonyme, 2005).

Les zones de production céréalière s'étendaient sur Guelma, Constantine et Chelf, avec de hautes zones se situant à plus de 1000 m d'altitude comme Sétif et Tiaret. Le blé dur et l'orge étaient cultivés au Hodna jusqu'aux hautes vallées des Aurès. La production céréalière de ces zones suffisait pour approvisionner les Romains, les Génois et les Marseillais (Anonyme, 2005). L'Algérie était le grenier de la "Rome antique" pour le blé (Zabat, 1980). Les principales céréales cultivées étaient celles d'hiver dont le blé, l'orge et l'avoine. Le paysan ne cultivait que le blé dur « guemah » destiné à la fabrication de la semoule avec une multitude de variétés rustiques et peu exigeantes mais susceptibles aux maladies et aléas climatiques. Le blé tendre était inconnu en Afrique du Nord avant l'arrivée des colons en 1830 sauf dans les oasis où existait une variété spéciale *T. vulgare* var. *oasicolum* L. (Anonyme, 2005). Les blés métropolitains introduits n'ont jamais donné satisfaction en raison de leur maturation tardive ou sensibilité à la rouille jaune ; exception faite à la Tuzelle d'Aix dont le mélange avec les blés Mahons, forme les blés dits « Colons ». Ces derniers étaient estimés pour leurs rendements et la qualité de leur grain (blés blancs) recherchée localement et par le marché métropolitain (Anonyme, 2005). Quant aux orges, elles étaient dominées par l'orge carrée (escourgeon d'Afrique), quelques orges à six rangs et à deux rangs et les orges Saïda et Tichedret ayant fait l'objet de sélection durant la période coloniale et maintenues jusqu'à nos jours en

raison de leur adaptation et leur utilité dans l'alimentation humaine et animale (FAO, 2006).

I.2. Importance de la céréaliculture dans le monde

Le blé occupe la première place dans la production végétale et constitue l'aliment de base, c'est la culture la plus cultivée. Il est nutritif, concentré, facilement stocké et transporté. Dans le grain de toutes les céréales, le constituant nettement majoritaire est l'amidon qui constitue environ les trois quarts de la matière sèche (Godon, 1991). Il contient des hydrates de carbone (78,1%), des protéines (14,7%), des lipides (2,1%), des minéraux (2,1%) et des vitamines en quantités considérables (Alam et *al.*, 2007). Bien que la céréaliculture et surtout le blé dur soit cultivé dans diverses régions du monde, la majeure partie de la production du blé dur (culture stratégique) est concentrée en Amérique du nord et le bassin méditerranéen (ce dernier fournit 75% de la production mondiale) (Belaid, 2000). Dans le monde les céréales constituent la composante de base de l'agriculture. Selon Sikora (1987), le blé et l'orge occupent 70% des terres cultivées en Afrique du Nord en Asie de l'Ouest. Le blé occupe la première place, suivi de riz du maïs puis de l'orge. les principaux pays producteurs sont le Canada, le Mexique, les USA, la France, la Grèce, l'Italie et la Russie.

Les céréales constituent la plus importante source d'alimentation au monde. Environ 70% des terres destinées pour les cultures vivrières sont consacrées aux cultures céréalières (Riley *et al.*, 2009). Le blé, le maïs et le riz occupent la position la plus éminente avec 58 pour cent des cultures annuelles en termes de superficie et de production. En 2030, la population mondiale atteindra environ 8 milliard et la demande en céréales augmentera considérablement (Fischer *et al.*, 2009).

La production mondiale de blé qui était aux environs de 247 millions de tonnes en 1961, a doublé en 1981 pour atteindre 485 millions de tonnes. A partir de cette date, la progression dans le temps de cette production était lente pour atteindre plus de 584 millions de tonnes en 1996, ce qui correspond à 25 % de la production totale des céréales qui est de 2 milliards de tonnes (Anonyme, 1998). En Méditerranée, la France est le premier producteur de blé. En 1996, elle a produit 36 millions de tonnes. Elle a également enregistré les plus hauts rendements, pour le blé également, avec 7 tonnes/ha. Des améliorations de rendements ont été obtenues un

Chapitre I – Donnée bibliographique sur la plante hôte

peu partout en Méditerranée et en Arabie Saoudite .Les superficies cérésières sont en légère régression, les plus importantes emblavures cérésières sont celles de la Turquie avec 14 millions d'hectares, de la France avec 8,8 millions d'hectares, de l'Espagne avec 6,7 millions d'hectares et enfin le Maroc avec 6 millions d'hectares (Anonyme, 1998). (Figure 1)

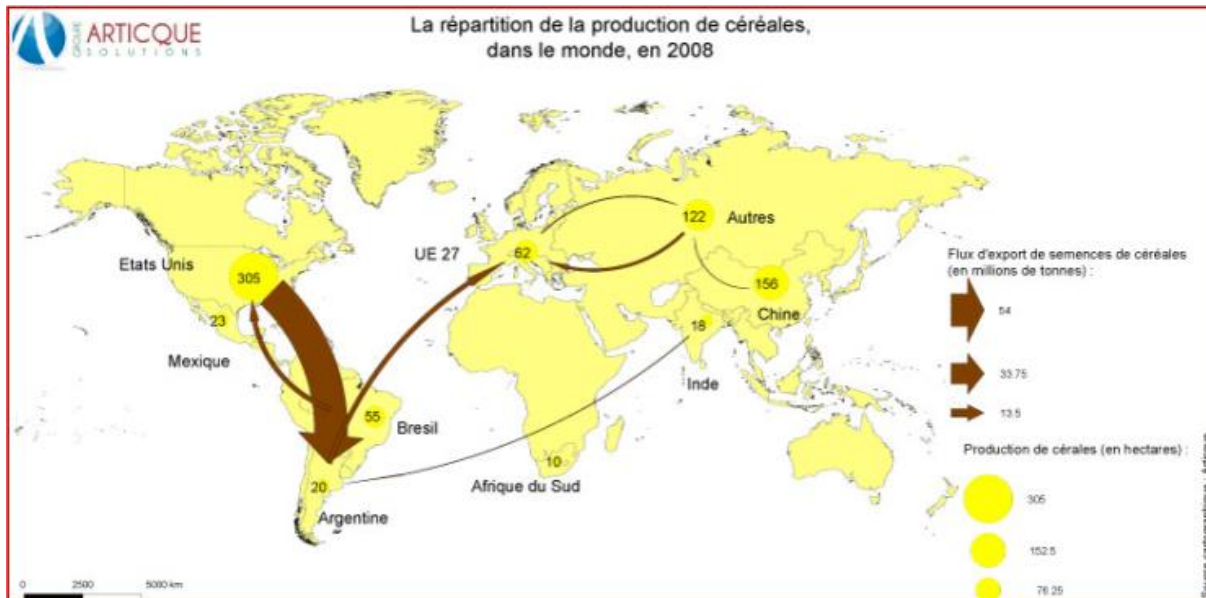


Figure 1 : Carte la répartition de la production des céréales dans le monde en 2008
(Anonyme, 2008)

I.3. Importance de la céréaliculture en Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière (Djermoun, 2009).

Selon Lerin (1986), les céréales représentent les ressources principales du Fallah et elles constituent la base de la nourriture dans plusieurs régions d'Algérie. Les céréales et leurs dérivées constituent l'épine dorsale du système alimentaire Algérien. En effet, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique, et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire nationale (Feillet, 2000).

En Algérie, les superficies réservées aux céréales sont de l'ordre de six (06) millions d'hectares, chaque année trois (03) à 3,5 millions d'hectares sont emblavés, les restes étant laissés en jachère (non cultivée). Soit, 70% est destinée particulièrement à la culture de blé, l'orge, et l'avoine n'occupe qu'une faible superficie, même quand les conditions climatiques sont favorables, la superficie

Chapitre I – Donnée bibliographique sur la plante hôte

récoltée est moins que celle emblavée. La majeure partie de ces emblavures se font dans les régions de : Sidi Bel Abbés, Tiaret, Sétif, El Eulma. Ces grandes régions céréalières sont situées dans leur majorité sur les hauts plateaux. Ceux-ci sont caractérisés par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gelées printanières et des vents chauds et desséchants (Belaid, 1996 ; Djekoun *et al.*, 2002).

La production moyenne de céréales des 5 dernières années (2008 à 2012), qui a légèrement dépassé 32 millions de quintaux selon la Fao, se répartit de la façon suivante : Blé : 19 millions de qx (60%) Orge : 13 millions de qx (40%) La production de blé se répartit entre blé dur (70% en 2012) et blé tendre (30%), avec une importante variabilité interannuelle. Le blé dur reste ainsi la céréale prépondérante en Algérie. Généralement bien adapté aux conditions locales, sa production progresse au même rythme que celle du blé tendre (+ 47% entre les moyennes quinquennales 2000-2004 et 2008-2012), contre + 84% pour l'orge, qui reste plus importante que le blé tendre, à plus de 13 millions de quintaux en 2008-2012, contre 8 pour le blé tendre et 19 pour le blé dur (Rastoin et Benabderrazik, 2014). Les rendements céréaliers demeurent faibles et très irréguliers : 13,5 q/ha pour le blé (dure et tendre) en moyenne sur 2001-2010, et 13,2 pour l'orge, ce qui se situe loin derrière la productivité des pays méditerranéens de l'Europe et s'explique à la fois par des causes naturelles (sol et climat), techniques (semences, pratiques culturales) et humaine (organisation et formation des producteurs). On note par ailleurs en Algérie une forte « régionalisation » des conditions de production et donc des niveaux de récolte contrasté d'Est en Ouest, la même année (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

I.4. Aire et production céréalière en Algérie

Les terres céréalières (jachère comprise) occupent environ 80% de la superficie agricole utile (SAU). La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'hectares et les superficies récoltées annuellement représentent 63% des emblavures. Cette spéculation est présente dans toutes les étages bioclimatiques, y compris dans les zones sahariennes mais un tiers seulement de ces emblavures est localisé dans l'étage bioclimatique à pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 450 mm (Djermoun, 2009). Le nombre de variétés

Chapitre I – Donnée bibliographique sur la plante hôte

céréalières autorisées à la production et à la commercialisation a augmenté avec les nouvelles variétés sélectionnées et homologuées depuis 2006. Il atteint 103 variétés, dont : 32 variétés de blé dur, 26 variétés de blé tendre, 23 variétés d'orge, 11 variétés d'avoine et 11 variétés de triticaire (figure 2).

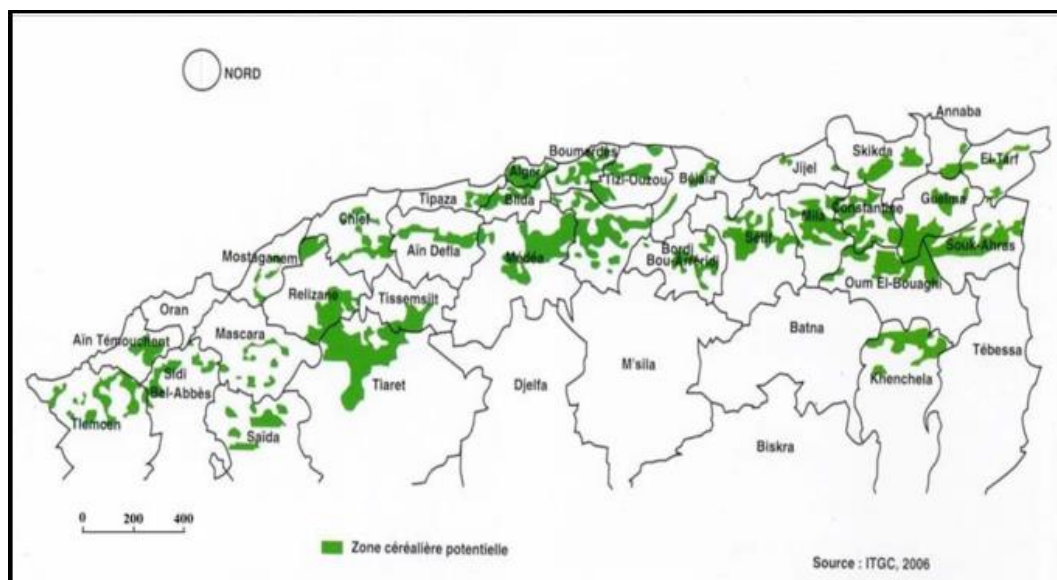


Figure 2 : Les zones céréalières en Algérie (Anonyme, 2006)

La production nationale a évolué ces dernières années avec un maximum de 62 millions de quintaux en 2009 et 49,12 millions quintaux en 2013, soit un rendement de 18,11 qx/ha (OAIC, 2013). Cette production demeure toutefois insuffisante et ne couvre pas les besoins de la population, d'où le recours à l'importation. A titre d'exemple, la quantité des céréales importées durant les dix premiers mois de 2013 a atteint 8,381 millions de tonnes, soit l'équivalent de 1,84 milliard de dollars (Anonyme, 2013).

I.5. Cycle de développement des céréales

Au cours de son développement, les céréales subissent des modifications morphologiques correspondant aux différents stades de leur croissance (Boulal et al, 2007). Le cycle de développement des céréales comprend trois grandes périodes (figure 3).

I.5.1. Période végétative

Elle s'étend du semis au début de la montaison, elle est subdivisée en plusieurs phases :

I.5.1.1. 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 radicule (Vertucci, 1989). La germination commence quand le grain a absorbé environ 25 % de son poids d'eau. Les téguments se déchirent, la racine principale, couverte d'une enveloppe appelée Coleorhize, apparaît, suivie par la sortie de la première feuille, couverte d'une enveloppe appelée Coléoptile. À la surface du sol, puis apparaissent d'autres racines et feuilles. La durée de cette phase varie avec la température de 8 à 15 jours. (Clement et Prat, 1970)

I.5.1.2. Phase semi-levée

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

I.5.1.3. 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).

I.5.2. Période reproductrice

Cette période comprend deux phases :

I.5.2.1. 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.

I.5.2.2. 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).

I.5.3. Période de maturation

Elle s'étend de la fécondation jusqu'à la maturité du grain et comprend deux phases:

I.5.3.1. Phase pâteuse

La graine accumule fortement l'amidon dans son albumen. Tout déficit en eau entraînera 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).

I.5.3.2. Phase de dessiccation

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

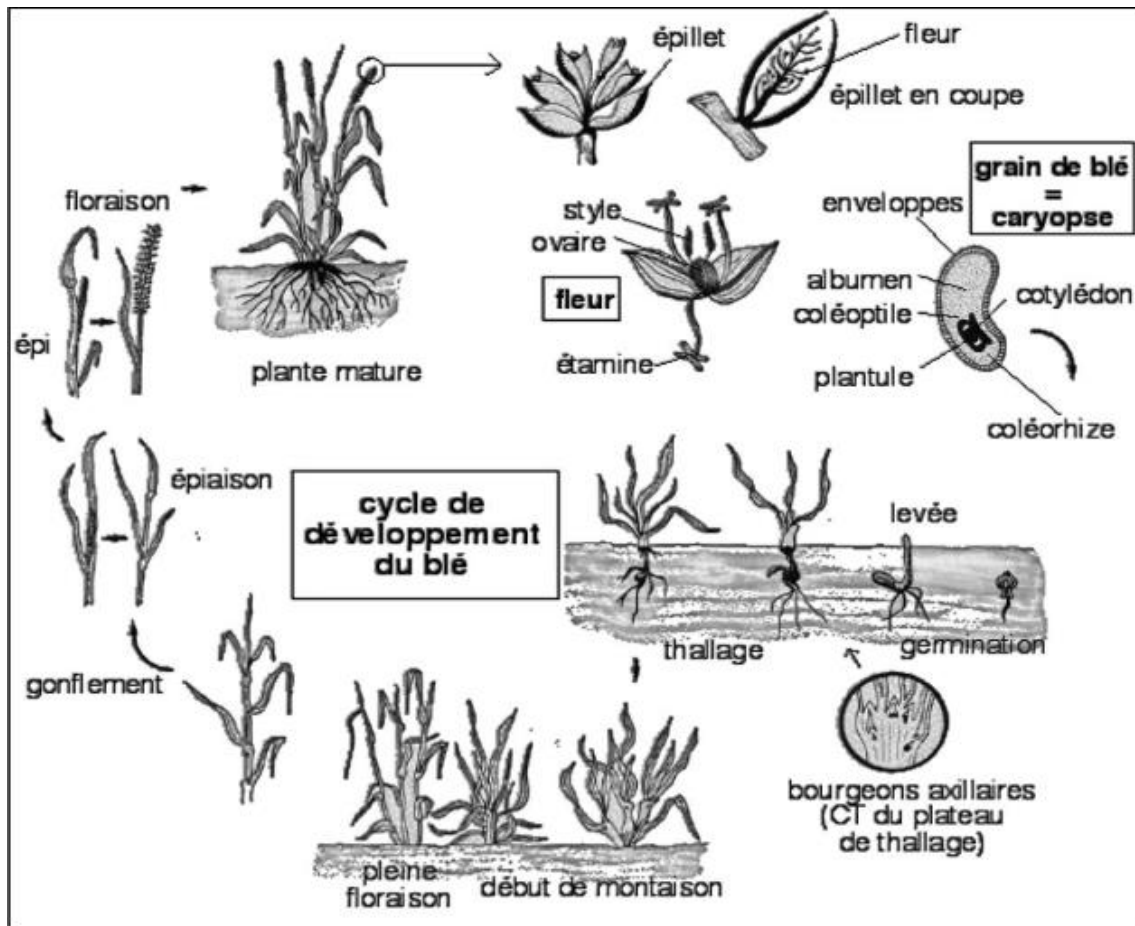


Figure 3 : Cycle de développement du blé (Yves et Jacques, 2000)

I.6. Les maladies des céréales

La culture de céréales est soumise à l'attaque d'un grand nombre de maladies et qui peuvent occasionner des pertes importantes. Les pathologies plus courantes sont d'ordre fongique et se résument sur le tableau 1.

Tableau 1 : Les maladies des céréales.

Maladies	Espèces	Description	Références
Les rouilles	La rouille brune <i>Puccinia triticina</i>	Elle se présente sous forme de macules brunes arrondies sur les feuilles	Dupont, 1982
	La rouille noire <i>P.graminis</i>	Elle est observée après la moisson sur les pailles, sous forme de pustules très allongées contenant des spores.	
La carie	<i>Tilletia caries</i>	Il se reconnaît au stade de la floraison par un port dressé,	Clement et

Chapitre I – Donnée bibliographique sur la plante hôte

			une teinte vert bleuté qui persiste plus longtemps sur épis contaminés que sur les épis normaux, et l'absence d'anthères.	Prats, 1971
Le charbon	Le charbon nu	<i>Ustilago tritici</i> sur blé	Les épis recouverts d'une masse purulente noire et à leur maturité seules les rachis souvent déformés persistent. Les enveloppes florales sont détruites.	Dubois et Flodrops, 1987
		<i>U. nuda</i> sur orge.		
Le charbon	Le charbon couvert	<i>Ustilago hordei</i> sur l'orge	L'épi atteint est gris-verdâtre, ébouriffé contient des masses sporifères à la place du grain. Les épis malades restent fréquemment bloqués dans la gaine.	Bovey, 1979
		<i>U. avenae</i> sur l'avoine.		
Fusarioses		<i>Fusarium roseum</i>	Les plantes attaquées présentent une coloration violacée à noire au dessus du nœud, avec un noircissement du nœud et un brunissement des tissus attaqués.	Laffont, 1985
Septorioses		<i>Phaeosphaeria nodorum</i>	Sur les feuilles et grains il y a apparition de taches en losange nécrosées au centre et bordées d'une marge chlorotique jaune.	Laffont, 1985

1.7. Les bio-agresseurs animaux des céréales

Plusieurs bio-agresseurs animaux sont susceptibles de causer des dégâts sur la culture de la pomme de terre, nous citerons ceux qui ont plus d'importance. Parmi eux les insectes pouvant commettre des dégâts sur les divers parties des céréales notamment le blé, ils sont indiqués dans le tableau 2.

Chapitre I – Donnée bibliographique sur la plante hôte

Tableau 2 : Les ravageurs animaux sur céréales

Ordre	Nom commun	Nom scientifique	Partie attaquée
oiseaux	moineaux	<i>Passer hispaniolensis</i>	Epis
rongeurs	Rat noir, Surmulot, Mulot, Mérieone de Shaw	<i>Rattus rattus</i> , <i>Rattus novegicus</i> , <i>Apodemus sylvaticus</i> <i>Meriones shawi</i>	Epis
Homoptères	pucerons	<i>Sitobion avenae</i> , <i>Rhopalosiphum padi</i> .	Feuilles, tiges et épis
Orthoptères	Criquet pèlerin	<i>Schistocerea gregaria</i>	Toute la plante
	Criquet migrateur	<i>Locusta migratoria</i>	Feuilles et tiges
Coléoptères	Ver blanc	<i>Geotrogus deserticola</i>	racines
	criocères des céréales	<i>Lema melanopa</i>	feuilles
Hémiptères	Punaise	<i>Eurygaster sp.</i>	Epis
Diptères	Mouche de Hesse	<i>Mayetiola destructor</i>	Epis
Lépidoptères	Noctuelle des céréales	<i>Spodoptera sp.</i>	Epis
	Noctuelle terricole	<i>Agrotis segetum</i>	Tige et feuilles
	Noctuelle	<i>Sesamia nanagroides</i>	Epis
Thysanoptères	Thrips	<i>Angullulina tritici</i>	Epis
Nématodes	Nématodes à kyste	<i>Heterodera avenae</i> , <i>H latipons</i> et <i>H. mani</i>	racines

II.1. Généralité sur les nématodes

Les nématodes ou « vers ronds » sont des invertébrés les plus omniprésents sur terre. Ils habitent pratiquement chaque environnement, (Ramade, 2003 ; Gaugler et Bilgrami, 2004). Ils sont parmi les animaux les plus diversifiés du sol, généralement les plus abondantes des métazoaires et les plus importants consommateurs secondaires dans le sol (Mulder *et al.*, 2005). Ils présentent une très grande diversité avec un nombre total d'espèces dans le phylum *Nematoda* estimé entre 40000 et 10 millions (Blaxter *et al.*, 1998; Dorris *et al.*, 1999 ; Blumenthal *et al.*, 2004).

Selon Masclet (2016) les nématodes sont d'importants ravageurs des plantes en agriculture. Ces petits vers microscopiques, tous munis d'un stylet creux, sont transparents. Leur petit diamètre ne permet pas de les voir à l'œil nu, mais ils sont facilement observables sous la loupe binoculaire. Ils peuvent occasionner des dommages à la plante de négligeable jusqu'à une perte totale. Ces nématodes sont des parasites obligés. Cela signifie que pour survivre, compléter leur développement et se reproduire ils doivent se nourrir sur les racines ou les parties aériennes de la plante.

Pour se nourrir, les nématodes prélèvent, à l'aide de leur stylet sur le système racinaire de la plante, ce qui diminue la capacité d'absorption de l'eau et des éléments nutritifs dans le sol (Masclet, 2016). Certains nématodes ont une gamme d'hôtes très restreinte alors que d'autres tel que *Meloidogyne incognita* attaquent plus de 2000 plantes connues. Les dégâts qu'ils occasionnent sur les cultures sont tels qu'ils sont considérés comme un fléau par les agriculteurs (Figure 4) (Haougui *et al.*, 2013).

Morphologiquement, les nématodes sont constitués d'un tube externe (cuticule) enveloppant deux tubes internes superposés, le tube digestif et le tractus génital (Cayrol *et al.*, 1992). Les nématodes phytoparasites se caractérisent par la présence dans la cavité buccale d'un stylet performant en forme d'aiguille creuse que l'animal enfonce dans les tissus du végétal pour absorber le contenu prédigéré des cellules. Il est suivi d'un canal œsophagien qui comprend une partie musculaire représenté par le bulbe médian et d'une partie glandulaire. La partie musculaire,

véritable pompe aspirante et refoulant, injecte le produit des glandes dans les cellules végétales à travers le stylet, puis en absorbe le contenu prédigéré (De Guiran, 1983).



Figure 4 : Dégâts occasionnés par les nématodes à galles (*Meloidogyne*) sur les carottes (Haougui *et al.*, 2013)

II.2. Les nématodes à kystes des céréales *Heterodera* sp.

Les nématodes à kystes des céréales constituent le groupe de parasites le plus étudié sur ces cultures, notamment blé et d'orge (Sikora, 1987 et Cook et Noel, 2002). Ce sont des parasites sédentaires ayant une gamme d'hôtes limitée aux graminées (Stone et Hill, 1982 ; Nicol *et al.*, 2003 ; Rivoal *et al.*, 2003 et Dababat *et al.*, 2011). Ils sont largement répandus dans le monde et prédominent dans les zones céréalières où ils causent d'importantes pertes de rendements (Meagher, 1977; Nicol *et al.*, 2003 et Madani *et al.*, 2004). Ils sont ainsi considérés comme les principaux ravageurs affectant les céréales dans le monde (Bridge *et al.*, 2002).

Les nématodes à kyste des céréales forment un complexe de plusieurs espèces étroitement apparentées (Rivoal et Nicol, 2009). Le genre *Heterodera* comprend à pas moins de 70 espèces (Smiley et Yan, 2010). Selon Subbotin *et al.* (2010) à 80 espèces, réparties sur six groupes d'espèces "*Schachtii*", "*Goettingiana*", "*Sacchari*", "*Humuli*", "*Cyperii*" et "*Avenae*". Le groupe *Heterodera avenae* d'après

Handoo (2002) et Subbotin *et al.* (2003) contient actuellement 12 espèces valides (Nicole et Rivoal, 2008 ; Smiley et Yan, 2010) qui diffèrent les unes des autres par de petits caractères morphologiques et morpho-métriques mais montrent un large chevauchement entre elles (Wouts *et al.*, 1995; Wouts et Baldwin, 1998 et Handoo, 2002), qui 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 *et al.*, 1995), *H. pratensis* Gäbler, (Sturhan *et al.*, 2000).

II.3. Position systématique des nématodes à kystes

Les critères morphologiques, essentiellement du stylet de la larve du deuxième stade ainsi du cône vulvaire du kyste sont les plus utilisés en systématique (Mulvey, 1972 ; Wouts *et al.*, 1995).

Selon Stone (1977) et Reddy (1983), *Heterodera* sp. est un némathelminthe appartenant à la famille des *Heteroderidae*. Il occupe la position systématique suivante :

Embranchement : Némathelminthes.

Classe : Nématodes.

Sous classe : Secernentae.

Ordre : Tylenchida.

Sous ordre : Tylenchina.

Super famille : Heteroderoidae.

Famille : *Heteroderidae*.

Sous-famille : *Heteroderinae*.

Genre : *Heterodera*.

Selon divers auteurs *Heterodera avenae* est l'espèce la plus répandue et la plus nuisible dans le monde (Griffin, 1988 ; Greco *et al.*, 2002 ; Subbotin *et al.*, 2003). Elle constitue un facteur limitant de la production céréalière en Europe et en Australie et son incidence économique est plus marquée en Afrique du Nord (Bekal,

1997). En outre, cette espèce est polymorphe avec de nombreux pathotypes (Andersen et Andersen, 1982 ; Cook et Rivoal, 1998) et au moins deux écotypes, indiquant une adaptation de son cycle de vie aux conditions thermiques d'éclosion (Rivoal et Bourdon, 2005)

II.4. Répartition et importance économique d'*Heterodera* sp.

II.4.1. Répartition d'*Heterodera* sp.

II.4.1.1. Dans le monde

Le nématode à kyste *Heterodera avenae* Wollenweber (1924) a été identifié pour la première fois en Allemagne en 1874 comme parasite obligatoire des graminées. Ce nématode est signalé dans la plupart des pays européens (Rivoal, 1973 et Sikora, 1987). A l'exception du Nord de l'Amérique, sa répartition géographique est considérable dans pratiquement toutes les régions céréalières.

En Afrique, *Heterodera avenae* a été retrouvée en Algérie depuis 1961 par Scotto la Massese, mais sa biologie a été décrite par Mokabli et *al.* (2002), au Maroc par Rammah (1994), en Tunisie par Namouchi et B'chir (2004) et en Lybie par Siddiqi et Khan (1986).

II.4.1.2. En Algérie

En Algérie, ce nématode a été identifié pour la première fois par Scotto la Massese (1961), puis mis en évidence par Lamberti et *al.* (1975) sur orge à Birtouta et sur blé à Sidi Bel Abbès. Ce nématode a été signalé dans d'autres régions céréalières telles que Tiaret, Mascara, Telmcen, Sidi Bel Abbès, Mostaganem, Bouira, Tissemsilt, Chlef, Alger, Blida, Bordj Bouareridj, Sétif, Tizi-ouzou, Constantine, Annaba et Bejaia (Mokabli, 2002). Sa biologie a été développée par Mokabli (2002) et Smaha et *al.* (2009). Sa virulence a été étudiée par Haddadi et *al.* (2013).

II.4.2. Importance économique d'*Heterodera* sp.

Les pertes des productions agricoles dues aux nématodes sont estimées à 10% de la production mondiale (Whithead, 1998). *Heterodera* sp. a engendré des baisses de rendement de 5 à 10% pour le blé et l'orge de printemps au sud de la France

(Caubel et *al.*, 1980), alors qu'en Angleterre les diminutions de production peuvent atteindre 30 à 40% (Reddy, 1983). Selon Smiley et *al.* (1994), les pertes sont de 50% de la production aux Etats Unis, de 40 à 50% au Maroc (Rammah, 1994), 40 à 92% en Arabie saoudite (Ibrahim et *al.*, 1999).

II.5. Morphologie d'*Heterodera* sp.

Les nématodes à kyste du genre *Heterodera* présentent un dimorphisme sexuel remarquable et très prononcé à l'état adulte (Rivoal et *al.*, 1978). Il se caractérise essentiellement par la formation des kystes (Choppin de Janvry, 1971). Les stades les plus décrits sont les larves de deuxième stade et les kystes, car ils constituent les stades apparents et les plus utilisés en systématique.

Les mâles ont un corps filiforme, cylindrique, tête de 12 à 13 μ de large et de 5 à 6 μ de hauteur qui tend à se tordre vers la partie postérieure, présentant quatre lignes sur le champ latéral et pourvue de stylet de 29,5 μ de long et des spicules de 35 à 36 μ . Leur longueur est de 1460 μ m environs (Vovlas, 1985) (Figure 5).

Les femelles sont globuleuses, en forme de citron (de Guiran, 1983). Elles sont d'environ 604 μ m de long (sans cou) avec un cou bien défini d'environ 108 μ m de long et une largeur de 341 μ m de large. Elles présentent un cône terminal bien visible. Elles sont entièrement recouvertes d'une couche sub-cristalline blanche. La vulve est située en arrière comme une ouverture bien exposée (Figure 5). L'anus est situé dans la zone subterminale dans une dépression de la cuticule (Vovlas, 1985). Les femelles sont didelphiques et les mâles comprennent un seul testicule. Pendant la période de reproduction, les femelles secrètent des substances sexuelles attractives pour attirer les mâles (Green et Plumb, 1970).

Les grandes ressemblances morphologiques dans le complexe de nématodes à kystes des céréales rendent parfois difficile l'identification des espèces. La taxonomie est basée sur les caractéristiques morphologiques du kyste mûr, telles que la forme générale, la taille et la couleur (Romero, 1982 ; Rivoal et Cook, 1993) et essentiellement sur les observations microscopiques du cône vulvaire (Shepherd et *al.*, 1973).

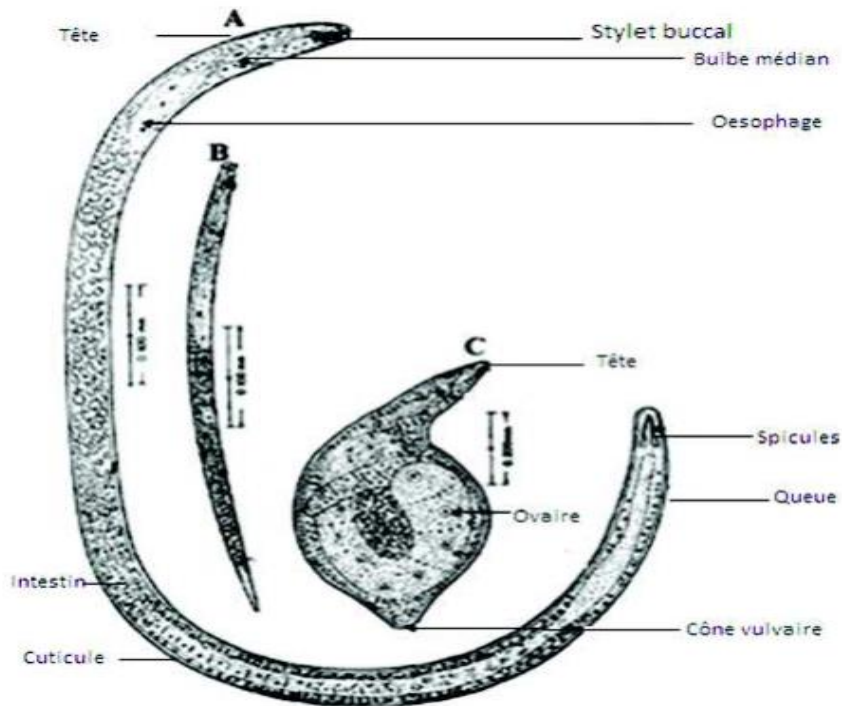


Figure 5 : Morphologie d'*Heterodera avenae* (Taylor, 1968).

A : Male, B : Larve du second stade « L2 », C : Femelle.

II.5.1. Les œufs

Ils sont renfermés dans le corps de la femelle adulte transformée en kyste (figure 6). 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 Siddiqui, 1972).

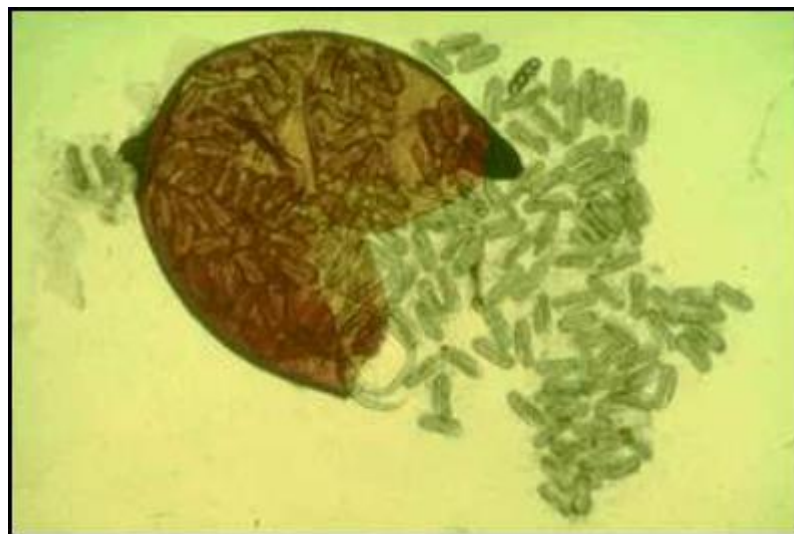


Figure 6 : Les œufs d'*Heterodera* (Wouts et *al.*, 1995)

II.5.2. Les larves

Les larves du premier stade sont dans l'œuf (Williams et Siddiqui, 1972). Par contre les larves (L2) éclos de l'œuf sont filiformes (figure 7), avec une tête hémisphérique (Vovlas, 1985), de longueur allant de 490 à 600 μ m et un stylet de 24 à 30 μ m de longueur avec une protubérance distale du stylet de forme ronde légèrement concave (Sturhan, 1982). De même, les L2 sont d'un important critère de diagnostic des espèces d'*Heterodera* ; elles présentent plus d'intérêt que les kystes (Sturhan, 1982). Pour les larves du troisième stade sont gonflées sédentaires avec une queue courte à la partie postérieure et un stylet buccal à la partie antérieure (Wouts, 1972). Les larves du quatrième stade elles ressemblent aux larves du troisième stade dans les caractéristiques avec une anus terminal (Wouts, 1972).

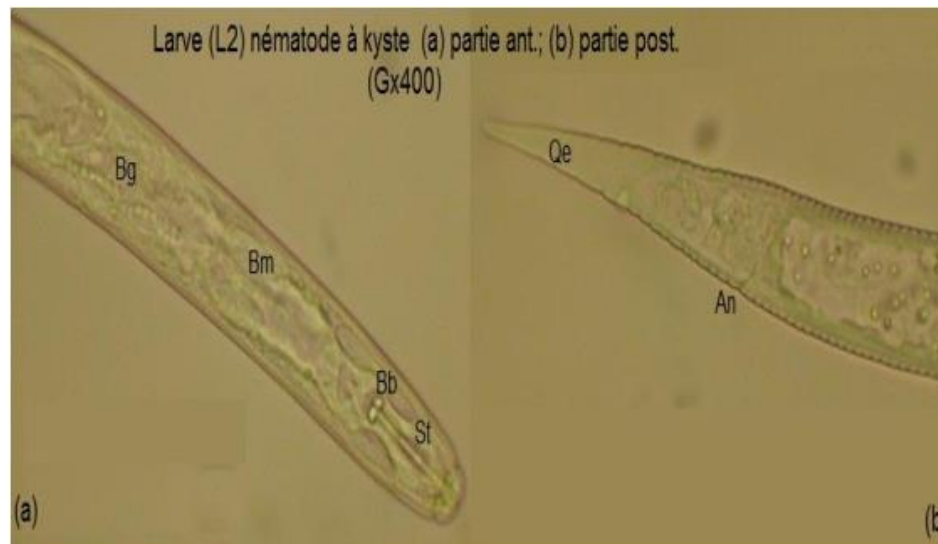


Figure 7 : Morphologie de larves (L2) de nématodes à kyste (Hadj-sadok Nebih, 2013)

II.5.3. Le kyste

Il est en forme de citron avec un cou et un cône vulvaire bien visible de couleur brun. Les parois externes présentent des arrêts en zigzag irrégulier (Vovlas, 1985). Le kyste est une forme de résistance, de conservation et de multiplication. Son rôle est principalement protecteur (Shepheld et *al.*, 1972). Cependant Williams et Siddiqui (1972) rapportent que le kyste contient en moyenne 200 à 250 œufs mais, les kystes les plus gros peuvent contenir plus de 600 œufs. Fisher et Hancock, (1991) dénombrent 437 œufs/kyste (Figure 8).



Figure 8: Les kystes d'*Heterodera* sp. (Wouts et al., 1995)

II.6. Cycle de développement d'*Heterodera* sp.

Le cycle de développement d'*Heterodera* comporte cinq stades larvaires avec quatre mues (Figure 9). La première mue a lieu à l'intérieur de l'œuf après éclosion par la fente vulvaire du kyste donne directement une larve de deuxième stade lorsque les conditions d'humidité et de température sont favorable (Sacristan et al., 1983 ; Person-Dedryver, 1989). Une fois les L2 libérées dans le sol, elles attaquent les radicelles de la plante hôte. A l'aide du stylet buccal, les juvéniles pénètrent à travers le point végétatif situé derrière la coiffe et se déplacent dans les tissus radiculaires pour créer des sites trophiques. Ces sites d'alimentation sont situés près de l'endoderme ou du péricycle. Les larves se situent ensuite parallèlement au cylindre central où elles induisent la formation de cellules géantes appelées « Syncytia » dont elle se nourrissent (Rivoal et Cook, 1993).

Les L2 se différencient soit en femelle fixées par le cou et dont le corps émerge à la surface de la racine, soit en males filiformes qui se déplacent dans le sol et fécondent les femelles (Taupin, 1987). Après fécondation, la femelle pond des œufs qui restent à l'intérieur du corps qui se transforme en kyste. Les kystes contenant des larves et des œufs s'intègrent dans le sol. Les larves y sont conservées pendant plusieurs années et permettent d'assurer plusieurs infestations consécutives. Le cycle est bouclé en neuf mois (Cook et Yeates, 1993; Rivoal et Bourdon, 2005 et Rivoal et Nicol, 2009).

La dissémination de ce parasite se fait principalement par les vents, mais les opérations culturales, les outils de travail du sol et l'eau d'irrigation peuvent aussi contribuer à sa propagation (Meagher, 1977).

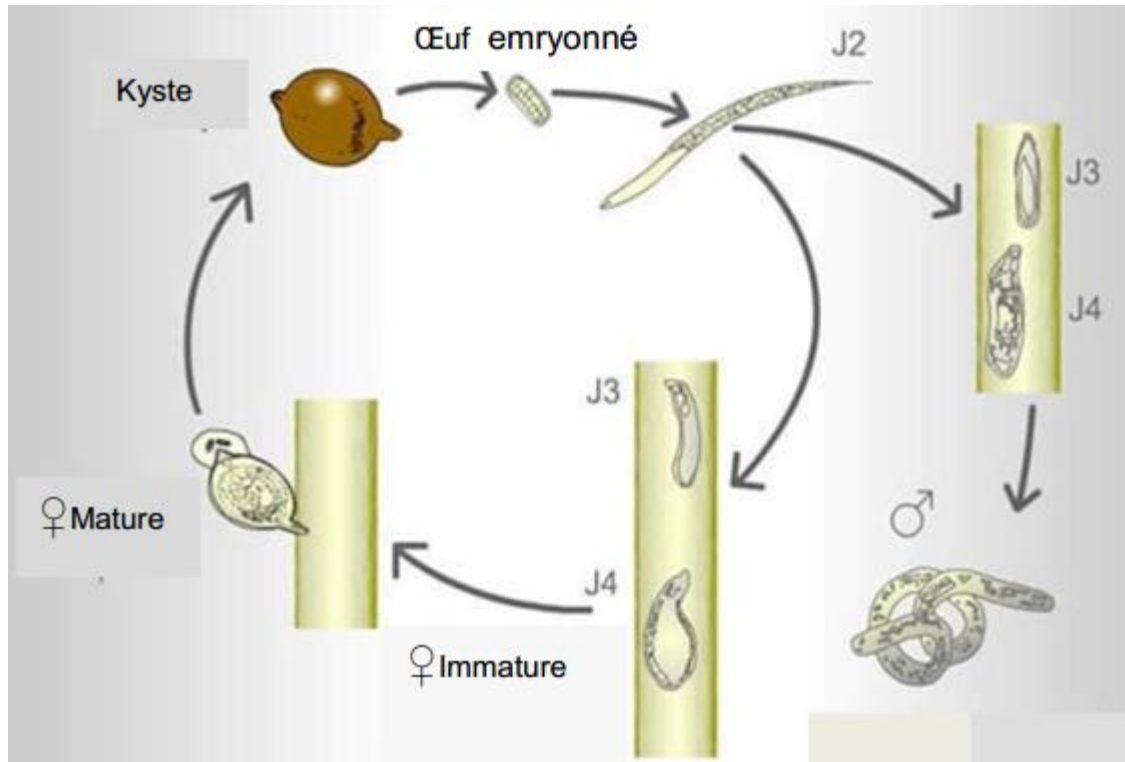


Figure 9 : Cycle de vie des nématodes à kyste des céréales (Mitchinson, 2009)

II.7. Symptomatologie

Selon Smiley et Yan (2010), les symptômes ne sont pas spécifiques et varient selon les espèces de céréales hôtes.

II.7.1. Symptômes en plein champ

Les symptômes induits par *Heterodera* sp. se traduisent généralement par de larges plages circulaires à végétation très faible, constituée de plants chétifs (Rivoal et Cook, 1993). Les plants attaqués présentent un tallage réduit et deviennent rabougris et nains (Rivoal et Cook, 1993) et les épis formés sont ainsi maigres (Mor *et al.*, 1992).

II.7.2. Symptômes sur la plante

II.7.2.1. Symptômes sur la partie aérienne

Les symptômes des plants atteints (figure 10) rappellent ceux d'une grave déficience en azote et en d'autres minéraux (Renčo, 2005). Les feuilles se décolorent puis deviennent jaunes sur l'orge, rouges sur l'avoine et jaunes-rougeâtres sur le blé (Rivoal et Cook, 1993).



Figure 10: Symptômes d'*Heterodera* sp. observés au niveau des feuilles (un rougissement et un jaunissement feuilles). (Anonyme, 2012).

II.7.2.2. Symptômes sur la partie racinaire

Les racines des plantes touchées sont peu profondes, extrêmement ramifiées, composées de nombreuses radicules courtes qui partent en tous sens d'un même point appelé nœud (figure 11). À partir d'avril-mai, des petites boules blanches de la grosseur d'une tête d'épingle apparaissent au niveau des racines : ce sont les femelles qui s'accrochent. Ces boules virent au brun à maturité pour donner des kystes (forme de résistance) contenant plusieurs centaines de larves capables de survivre plus de 5 ans dans le sol (Anonyme, 2012)



Figure 11: Symptômes d'*Heterodera* sp. observés au niveau des racines, à droite la plante attaquée et à gauche la plante saine (Anonyme, 2012).

II.8. Dégâts et pertes

Les cultures céréalières sont parasitées par de nombreux agents pathogènes et ravageurs, dont les nématodes parasites. Les pertes liées à ces derniers sont estimées à 85 milliards de dollars à travers le monde (Ravichandra, 2008). Nicol (2002) rapporte que les pertes de rendements causées par les nématodes à kyste sont de 15 à 20% sur blé au Pakistan, de 40 à 92% sur blé et 17 à 77 % sur orge en Arabie Saoudite et de 23 à 50 % sur blé et 20% sur orge en Australie. Elles peuvent dépasser 90% dans les champs fortement infestés (Rivoal et Cook, 1993 et Riley *et al.*, 2009). *H. avenae* s'attaque aux céréales et provoque d'importantes pertes économiques dans de nombreuses régions du monde au cours de ces 40 dernières années (Holgado *et al.*, 2006). D'autres espèces de nématodes du genre *Heterodera* peuvent également endommager les cultures de céréales.

L'intensité des dégâts est déterminée par l'infestation initiale, mais elle peut être modifiée d'une part, par les conditions édaphiques et climatiques (Rivoal et Cook, 1993). Lorsque le manque d'eau ou de nutriments devient un facteur limitant pour la croissance optimale des plants (Smiley et Yan, 2010) et par les variétés cultivées d'une autre part (Rivoal et Cook, 1993)

II.9. Méthodes de lutte

La stratégie de gestion des nématodes a pour but de réduire ou de maintenir ses populations en-dessous des seuils économiques nuisibles (Holgado *et al.*, 2006). Ces différentes méthodes de lutte sont disponibles et visent à baisser les densités des populations de ces parasites dans le sol (Rivoal et Nicol, 2009).

II.9.1. Méthodes préventives

La lutte contre les nématodes 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.9.2. Méthodes curatives

Ce sont essentiellement des méthodes culturales et chimiques, biologiques :

II.9.3. Méthodes culturales

La lutte culturale permet d'assainir le sol si elle est pratiquée sur plusieurs campagnes. En aucun cas, elle ne peut réduire significativement les populations sur une seule année (Anonyme, 2012)

II.9.3.1. Le désherbage

La destruction des mauvaises herbes et des résidus de cultures céréalières précédentes est indispensable car celles-ci constituent des hôtes potentiels pouvant maintenir les densités dommageables (Rivoal et Nicol, 2009). Une telle opération doit être soignée, puisqu'elle permet de supprimer les mauvaises herbes.

II.9.3.2. La date de semis

La manipulation de la date de semis peut minimiser l'impact de la période d'éclosion majeure. Il est généralement admis que les céréales semées en automne tolèrent mieux les attaques d'*H. avenae* que celles du printemps (Sikora, 1987).Le

semis de blé d'hiver plutôt que le blé de printemps favorise le développement racinaire des plants avant l'émergence massive des larves infectieuses au printemps (Smiley et Yan, 2010). Ce constat est cependant différent dans les conditions climatiques d'Algérie. En effet, les sorties larvaires se produisant en hiver, synchronisent avec la période de la levée des céréales ce qui constitue indéniablement un préjudice sur ces cultures (Mokabli, 2002).

II.9.3.3. La jachère

Cette méthode consiste à priver les nématodes de leurs plantes hôtes (graminées) pendant une ou plusieurs années ce qui aboutit à la diminution de la densité de leurs populations (Reddy, 1983).

II.9.3.4. La fertilisation et les amendements

Les engrais minéraux sont connus depuis longtemps pour baisser les populations de nématodes phytoparasites. Ils représentent un outil potentiel dans les programmes de gestion des populations de nématodes (Coyne *et al.*, 2004). Certains amendements azotés organiques et inorganiques ajoutés aux sols pour améliorer sa fertilité et augmenter les rendements des cultures, sont aussi connus pour leur effet nématicide, notamment les engrais minéraux qui libèrent l'azote d'ammoniaque ayant un effet régulateur des populations de nématodes dans le sol (Rodriguez-Kabana, 1986). L'apport de fertilisants minéraux sous forme de microéléments baisse significativement les populations d'*H. filipjevi* dans le sol et améliore le rendement des céréales (Seifi et Bide, 2013). La fertilisation du sol à l'engrais composé NPK (Nitrogène Phosphore Potassium) réduit le nombre des kystes d'*H. avenae* sur le système racinaire et augmente le poids sec des plants de blé infestés. Cet effet bénéfique devient plus important lors de l'application combinée de l'urée et du nématicide dit Fénamiphos qui augmente nettement la croissance des plants infestés (Al-Hazmi et Dawabah, 2014).

Les engrais verts de certaines cultures telles que la moutarde ou le colza, sont utilisés comme biofumigants afin diminuer le nombre de certains nuisibles telluriques des plantes dont les nématodes phytoparasites. Les produits toxiques générés lors de la dégradation des tissus verts de ces cultures, sont parfois capables de réduire la densité des nématodes dans le sol (Smiley et Yan, 2010).

II.9.3.5. Les rotations

Les dommages occasionnés aux céréales par les nématodes à kystes sont plus importants lorsque les cultures sensibles sont reconduites annuellement sur la même parcelle (Smiley et Yan, 2010). Les rotations saisonnières avec des cultures non hôtes restent la méthode la plus efficace pour lutter contre ces parasites et réduire leur populations en dessous du seuil dommageable (Hildalgo-Diaz et Kerry, 2008 et Dabbabat *et al.*, 2011) . La pratique pendant deux années successives d'une culture non hôte réduit la multiplication des nématodes et permet d'assainir le sol, d'où l'intérêt d'introduire les ray-grass résistants, qui seraient utilisés en cultures intermédiaires ou principales (Rivoal et Bourdon, 2005). Une rotation de cultures incluant le maïs, la jachère le blé et l'orge résistante peut réduire considérablement la densité de nématodes. Cependant, les pertes de rendement peuvent aussi devenir très importantes dans les rotations de 2 années incluant une céréale et une jachère mais aussi dans les rotations de 3 années composées de blé d'hiver, céréales de printemps, et une culture non hôte ou une jachère. (Smiley et Yan, 2010).

Selon Smaha (2002), une rotation basée sur la culture de pois chiche après une céréale a permis de diminuer les effectifs d'*H. avenae*. Cependant, l'application de la rotation reste difficile pour des raisons économiques évidentes (Caubel *et al.*, 1980).

II.9.3.6. Les variétés résistantes

Les variétés résistantes constituent un élément clé dans la stratégie d'une gestion intégrée et efficace contre les bioagresseurs ainsi que les autres agents pathogènes qui coexistent généralement dans les mêmes sols (Smiley *et al.*, 2009). Pour des raisons économiques et environnementales, la résistance variétale est actuellement la voie la plus intéressante pour lutter contre les nématodes à kystes des céréales. Cet intérêt a été démontré lors de la protection du blé dur en France avec l'utilisation des orges résistantes qui ont assuré l'assainissement des sols après seulement deux années de culture (Rivoal et Bourdon, 2005). La différenciation inter et intra spécifique dans ce complexe de nématodes à kystes des céréales pour leur virulence vis-à-vis des *Triticeae* et leur capacité reproductive intrinsèque est discutée au même titre que l'utilisation des résistances complète et partielle dans les programmes de sélection (Bekal *et al.*, 1997). Les lignées les plus utilisées en

sélection sont « Loros » et « Aus 10894 », mais leur résistance se relève parfois inefficace contre certains pathotypes (Rivoal *et al.*, 2001 ; Mokabli, 2002).

L'utilisation des cultivars résistants nécessite une identification préalable des différentes espèces nuisibles impliquées dans les dégâts (Mokabli *et al.*, 2001 et Akart *et al.*, 2009). Aussi 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 précaution (Rivoal *et al.*, 1983)

II.9.4.Méthodes chimiques

Une fois les NKC sont introduits dans un champ, leur éradication est quasiment impossible. Par conséquent, les précautions prises pour réduire leur transmission des champs infestés aux régions non infestées sont d'une importance cruciale (Smiley et Yan, 2010). L'application de fumigants nématicides avant la mise en rotation d'une culture non hôte peut réduire la densité des nématodes à kyste des céréales pour une culture de blé subséquente et de fournir ainsi une gestion efficace et économique de ces parasites (Nicol, 2002 et Smiley et Yan, 2010).Maqbool (1988) indique que l'utilisation des nématicides pour le contrôle d' *H. avenae* sur le blé a entraîné une augmentation de 50 à 75% de rendement au Pakistan. Bien qu'efficace, la lutte chimique contre *H. avenae* est rarement appliquée dans la pratique en raison du coût élevé des substances nématicides et de leurs conséquences sur l'environnement (Andersson, 1982).

II.9.5. Méthodes biologiques

Bien que la rotation culturale et l'utilisation des variétés résistantes constituent actuellement les moyens de lutte les plus adoptés contre les nématodes à kyste des céréales, la lutte biologique est une alternative à explorer avec pour candidats les antagonistes naturels de ces nématodes (Mensi *et al.*, 2011). La lutte biologique consiste à réduire les populations de nématodes grâce à l'action des microorganismes vivants, qui se produit naturellement ou par la manipulation de l'environnement ou l'introduction d'antagonistes (Stirling, 1991).

II.9.5.1. Champignons antagonistes des nématodes à kystes des céréales

Les champignons occupent une place importante dans la régulation des populations de nématodes dans le sol. Certains, ont montré un grand potentiel comme agents de lutte biologique (Kerry, 1988). Ces organismes microscopiques peuvent capturer, tuer et digérer les nématodes (Jonsson et Lopez-Llorca, 2001). Il existe trois groupes de champignons antagonistes (Jonsson et Lopez-Llorca, 2001).

II.9.5.2. Champignons prédateurs

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

II.9.5.3. Champignons parasites

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

Le champignon parasite d'œufs le plus fréquent est *Verticillium chlamydosporum* qui semble d'avoir une large répartition géographique (Cayrol et Kerry, 1988). Il parasite principalement les oeufs, mais peut aussi parasiter les femelles (Kerry et Hirsch, 2011). Le principal parasite des femelles est le *Nematophthora gynophila* qui agit empêchant la formation des kystes et en diminuant la fécondité (Kerry, 1988) (Figure 12).



Figure 12 : Kyste d'*Heterodera* sp. parasité par un champignon.
(Dababat *et al.*, 2014)

II.9.5.4. Endoparasites obligatoires

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

II.9.5.5. Endoparasites facultatifs

Ce sont des champignons capables de proliférer dans la rhizosphère même en absence des nématodes hôtes. Leurs filaments pénètrent dans les œufs en perforant la coque puis détruisent les embryons. Ils s'attaquent aussi bien aux œufs du genre *Meloidogyne* qu'à ceux du genre *Heterodera* (Cayrol *et al.*, 1992). Près de 150 espèces de champignons colonisent les femelles, les kystes et les œufs de 8 espèces de nématodes à kystes (Kerry, 1988). Ces derniers peuvent être infectés à différents stades de leurs cycles de vie (Dackman et Nordbring-Hertz, 1985).

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

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

Fusarium oxysporum et *Acremonium strictum* sont les principaux parasites des œufs d'*Heterodera schachtii* nématode à kyste de la betterave en Californie (Dackman et Nordbring-Hertz, 1985). Chez les nématodes à kyste du soja, *Heterodera glycines*, 61 espèces de champignons sont isolées et identifiées à partir de différents stades du nématode, avec une dominance de l'espèce *Fusarium solani* chez les kystes, *Fusarium oxysporum* chez les femelles blanches et *Paecilomyces lilacinus* chez les œufs (Chen et Chen, 2002). Mensi *et al.* (2011) ont isolé l'espèce *Pochonia chlamydosporia* et 11 autres genres fongiques tels que, *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Periconia* sp., *Rhizopus* sp. et *Alternaria* sp., qui sont associés à *H. avenae* dans différentes régions de la Tunisie.

II.9.6. Lutte intégrée

Comme aucun moyen de lutte ne permet un contrôle adéquat et durable des populations dans le sol lorsqu'il est appliqué seul, la combinaison de plusieurs méthodes à la fois devient impérative. Les nombreux exemples dans le monde ont montré que les populations de nématodes à kystes des céréales peuvent être réduites efficacement par une approche intégrée incluant l'ensemble des moyens de lutte précités (Dababat *et al.*, 2011).

De telles méthodes permettraient de réduire ou de maintenir les densités de nématodes dans le sol en dessous des seuils de nuisibilité (Holgado *et al.*, 2006 et Hildalgo-diaz et Kerry, 2008).

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Objectif

L'objectif du présent travail est de détecter la présence de nématode à kystes du genre *Heterodera* et d'évaluer l'état d'infestation des cultures de céréales par le nématode à kyste du genre *Heterodera* dans quelques communes de la wilaya de Tiaret.

III.2. Présentation de la région d'étude

La wilaya de Tiaret est située à l'ouest du pays, son territoire couvre une superficie d'environ 20110 km². Elle constitue un relais entre les régions du nord ouest et celles du sud. Toutefois, sur le plan administratif, elle est délimitée par Tissemsilt et Relizane au Nord ; par Laghouat et El Bayadh au Sud ; Mascara et Saïda à l'Ouest et par Djelfa à l'Est (Figure 13). Les coordonnées géographiques sont comme suit : longitude: (0,487756001° ; 2,671771000°), latitude: (34,07297500° ; 35,71108600°) Nord et l'altitude par rapport au niveau de la mer ; 1031m (Anonyme, 2015).

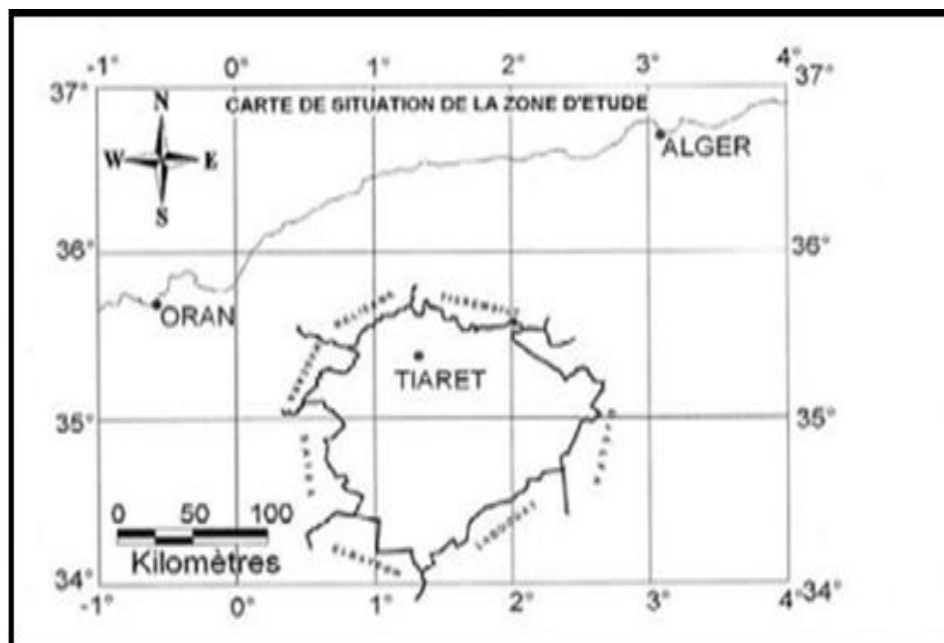


Figure 13 : Situation géographique de la région d'étude (Anonyme, 2011).

III.3. Caractéristiques climatiques de la région

Les principales caractéristiques climatiques de la région sont liées à l'influence du relief, de l'altitude et de l'exposition. Le climat de la wilaya de Tiaret est, en général, caractérisé par un hiver rigoureux, accompagné souvent par des chutes de neige et un été chaud et sec. En hiver, la température moyenne enregistrée est de 7°C avec une pluviométrie moyenne de 136mm. En été, la température moyenne est de 24°C avec une pluviométrie moyenne de 35mm. Avec une telle variation de pluviométrie, la ressource en eau représente un enjeu déterminant pour le développement de la région (Anonyme, 2011).

III.3.1. Pluviométrie

Les précipitations caractérisent la balance climatique d'une région, par leur intensité, leur fréquence et leur irrégularité. Par ailleurs, la pluie est un facteur important en ce qui concerne l'érosion du sol. La quantité et l'intensité d'une pluie déterminent et influencent l'érosion linéaire et l'érosion en surface du sol. L'averse d'une intensité donnée agit comme source d'énergie pour la séparation des particules du sol et l'écoulement généré par la pluie comme moyen de leur transport (Toumi, 2013). La figure 14 montre les variations les variations annuelles des pluies sur une période de 10 ans.

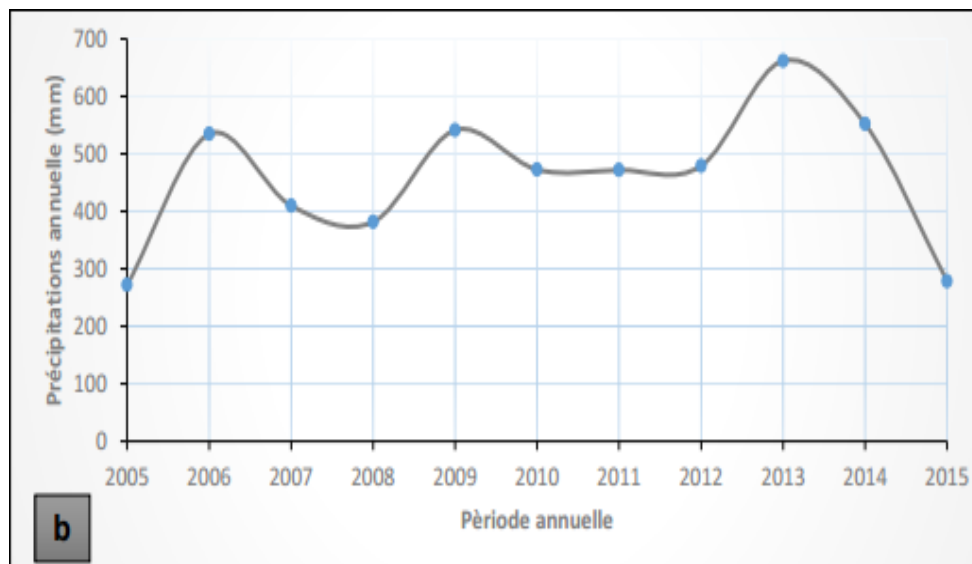


Figure 14 : Variations annuelles des quantités de pluies enregistrées dans la région de Tiaret durant la période de 2005 à 2015 (Anonyme, 2016).

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.3.2. Température

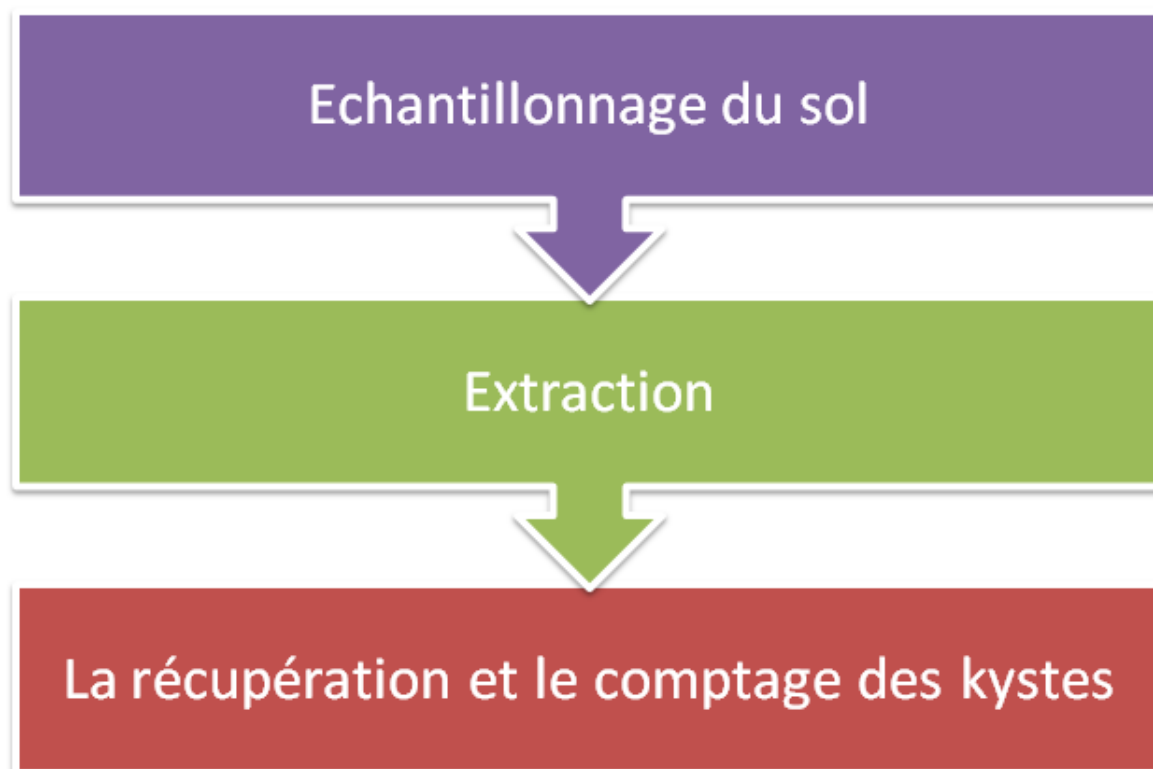
Le régime des températures est fortement influencé par l'altitude. Celle-ci renforce les gelées en hiver mais aussi elle adoucit les températures en été. Les températures moyennes de la région subissent des variations régionales et saisonnières. Le contraste saisonnier est bien marqué entre l'hiver et l'été. Les moyennes mensuelles de la température sont consignées dans le tableau 3. Les températures moyennes les plus élevées sont de 28,7 °C en juillet 2009 et de 28,4°C en aout 2012. Les moyennes les plus basses sont enregistrées durant le mois de janvier et février 2006, avec 3,8 et 3,3 °C respectivement (tableau 3)

Tableau 3 : Moyennes mensuelles des températures de la période 2005 à 2014 dans la région de Tiaret (Anonyme, 2016).

Année	Mois											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2005	3,8	3,3	10,4	12,7	20,3	23	27,5	25,1	20,4	17,5	9,8	6,1
2006	4	5,3	9,9	15	19,4	24	27,4	25	21,2	18,7	12,3	6,9
2007	6,6	8,8	7,9	11,2	16,1	22	27	26,2	22,1	15	8,9	5,8
2008	5,6	8,5	9,2	13,4	16,1	22,2	27,6	27,1	21,5	15,3	7,8	5
2009	5,5	6	9,9	9,4	17,9	23,9	28,7	26,2	19,2	16,3	11,7	8,9
2010	7,3	8,8	10,2	12,9	14,7	20,4	27,5	20,4	21,4	16,5	10,4	8,7
2011	5,1	5,9	10,2	7,5	16,8	22,4	26,4	24,5	20	16,3	8,5	7,2
2012	4,9	2,4	9,5	5,3	17,9	23,5	26,5	28,4	25,2	18,1	11,4	9,6
2013	6,2	5,1	9,4	11,8	13,8	20,2	25,8	25,6	21,3	20,2	8,6	6,2
2014	7,2	8	8,5	14,4	17,9	22	25,2	26,9	23,2	17,6	12	6,1

III.4. Analyse nématologique :

C'est une étape nécessaire, car elle permet une estimation quantitative des populations de nématode présent dans le sol, l'analyse nématologique comprend trois phases :



III.4.1. Sites d'échantillonnage

Les prélèvements d'échantillons de sol ont été réalisés dans 07 régions céréalières de la wilaya de Tiaret (Frenda, Houara, Rahwiya, Sid El Housni et Sidi Amar).

III.4.2. Méthodologies

Le travail expérimental est réalisé en fonction des étapes suivantes:

- Sorties sur terrain dans les sites choisis
- Prélèvement des échantillons de sol
- Extraction des kystes du sol par le dispositif de Fenwick (1940)
- Dénombrement à la loupe binoculaire

III.4.2.1. Echantillonnage du sol

L'échantillonnage est une méthode de prélèvement du sol dans les différentes parcelles cultivées en céréales. Ces prélèvements sont réalisés à une profondeur allant à 30 cm. Des quantités de sol sont prélevées à l'aide d'une binette.

A /Matériel utilisé

- ✓ des sachets en plastique
- ✓ des étiquettes
- ✓ tarière

B/ Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage est réalisé selon la méthode de prélèvement en diagonale. Nous avons enlevé 10 sous-échantillons élémentaires de 250g de sol de chaque parcelle de céréale et on les a rassemblé ensuite pour former un échantillon composite de 2,5kg. Les prélèvements élémentaires ont été pris à une profondeur approximative de 30 cm autour de la rhizosphère, à l'aide d'une truelle à main ou une pelle-bêche ou si c'est possible d'une tarière de pédologue cylindrique de 30cm en longueur et 20mm en diamètre. Ensuite, nous avons pris soin d'ensacher, de référencier et de refermer hermétiquement le sachet contenant l'échantillon (Figure 15), puis ramener au laboratoire.



Figure 15 : Méthode d'échantillonnage du sol (Boukhercha, 2016).

III.4.2.2. Techniques d'extraction des kystes du sol

A/ matériel utilisé

Le matériel nécessaire au déroulement de l'expérimentation est représenté par la figure (16)

Chapitre III : Matériels et méthodes

- ✓ Un appareil de FENWICK.
- ✓ Une passoire de 1mm de maille.
- ✓ Un tamis de 250µm.
- ✓ Du papier filtre.
- ✓ Entonnoir porté par Erlen-Meyer.
- ✓ Des boites de pétri.
- ✓ Une pissette.
- ✓ Une loupe binoculaire Gr, 10 X 1.6.
- ✓ Des épingles et des pinces.
- ✓ loupe binoculaire
- ✓ un pinceau
- ✓ une épingle



Un appareil de FENWICK



une loupe binoculaire



Un entonnoir



Une pissette



Un tamis



Passoire



Papier filtre



Boite de pétri

Figure 16 : Le matériel utilisé pour l'extraction des kystes de genre *Heterodera*. (Originale, 2018)

B/ méthode d'extraction

Au laboratoire les échantillons sont étalés sur du papier pendant 72 heures pour séchage, car les kystes secs flottent et sont facilement récupérés à l'extraction par l'appareil Fenwick.

Le principe consiste à isoler les kystes de toutes les particules du sol par la technique de Fenwick (1940) qui est basée sur la flottaison des kystes. La cruche de Fenwick est lavée puis le bouchon de vidange est fermé. Nous commençons par remplir la cruche d'eau et vérifier qu'il n'y a pas de fuite d'eau au niveau du bouchon de vidange (Figure 17). L'entonnoir qui va maintenir la passoire à (2 mm) est placé sur la cruche sur laquelle de sol séché est déposé. L'ensemble du dispositif est placé sous un robinet. Avant de mettre en marche le jet d'eau nous plaçons sous le déversoir de la cruche le tamis à mailles serrées (250 μ). Nous mettons en marche le robinet l'eau va couler dans la passoire qui contient le sol infesté par les kystes. Le contenu de cette dernière sera emporté dans le corps de l'appareil, le sol va se déposer au fond de la cruche alors que les kystes plus légers et les autres matériaux flottants vont monter en surface et seront entraînés par l'eau dans le déversoir et récupérés.

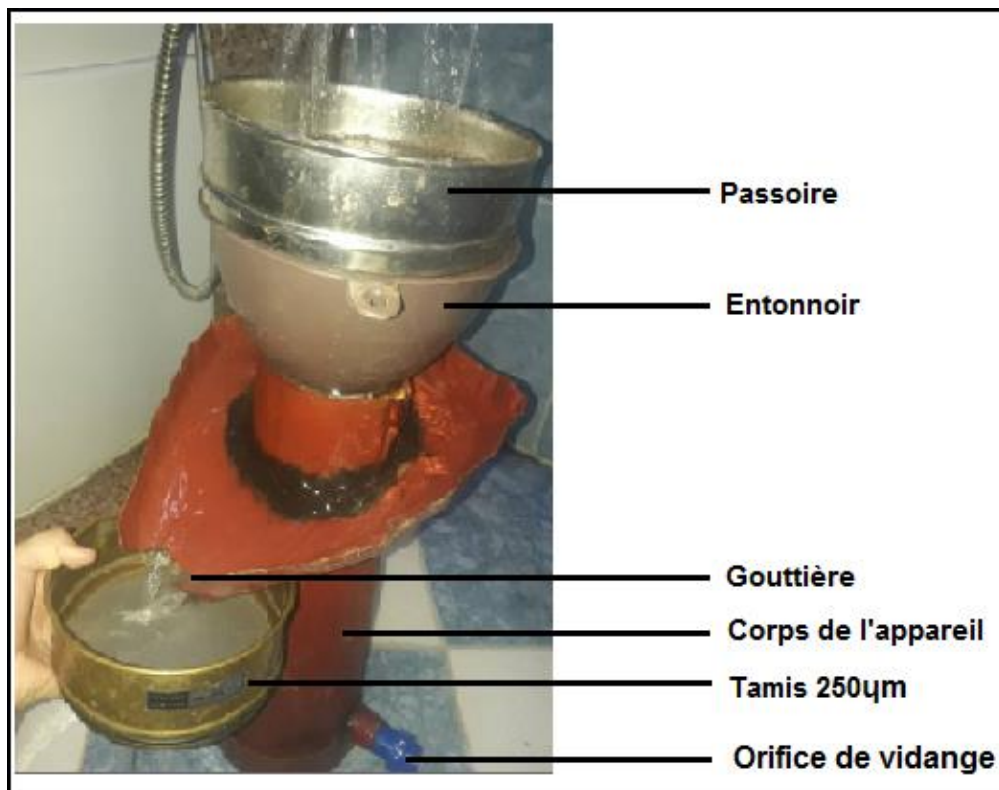


Figure 17 : Appareil de FENWICK et technique d'extraction des kystes. (Original)

Chapitre III : Matériels et méthodes

Le refus du tamis est récupéré à l'aide d'un jet d'eau sur du papier filtre, tapissant l'entonnoir porté par un Erlen-Meyer une fois sec, le contenu du papier est récupéré dans une boîte de pétri à l'aide d'un petit pinceau puis examiner sous loupe binoculaire (Gr. x 20 ou Gr. x40) afin de dénombrer les kystes et d'évaluer le taux d'infestation par les deux types de kystes (pleins et ouverts) (Figure 18).



Figure 18 : Les étapes d'extraction des kystes d'*Heterodera*. (Original)

III.4.3. Récupération et comptage des kystes

Les kystes sont récupérés un par un puis à l'aide d'un cure dent ou une épingle entomologique sous loupe binoculaire (Gr. X20 ou Gr. X40), ils sont dénombrés et identifiés le type de kyste (pleins et ouverts), puis sont mis dans des boîtes de pétri étiquetées sur lesquelles sont mentionnées la région, le type de céréale (Figure 19).

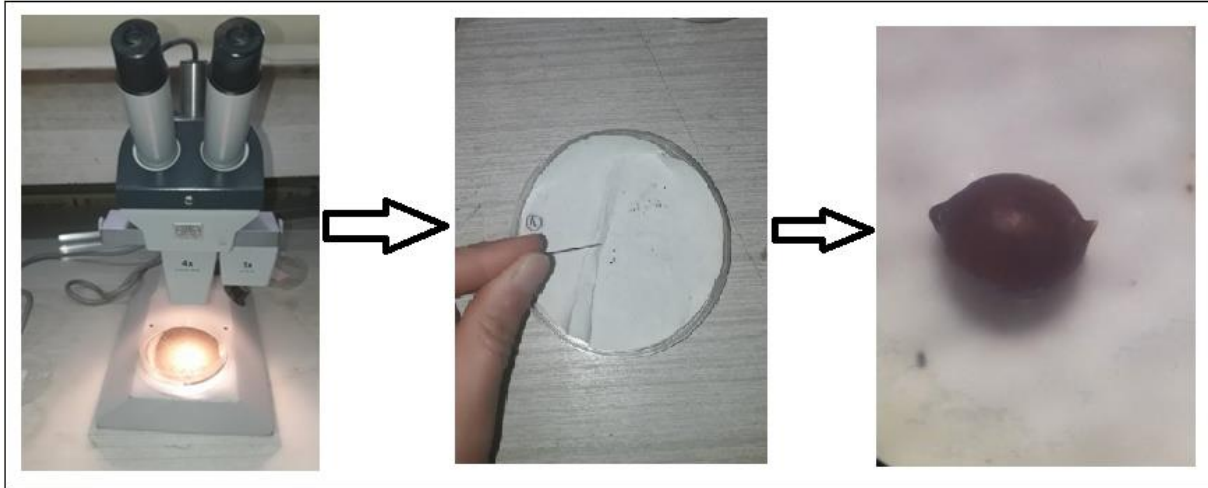


Figure 19 : La récolte et le dénombrement des kystes sous la loupe binoculaire (Original).

Les kystes pleins sont reconnus grâce à leurs aspect turgescent et gonflé et leur couleur foncée ou parfois claire (figure 20A). Alors que les kystes ouverts sont identifiés aspect ceux, aplatis ridé de la cuticule et par leurs couleurs claires (figure 20B).

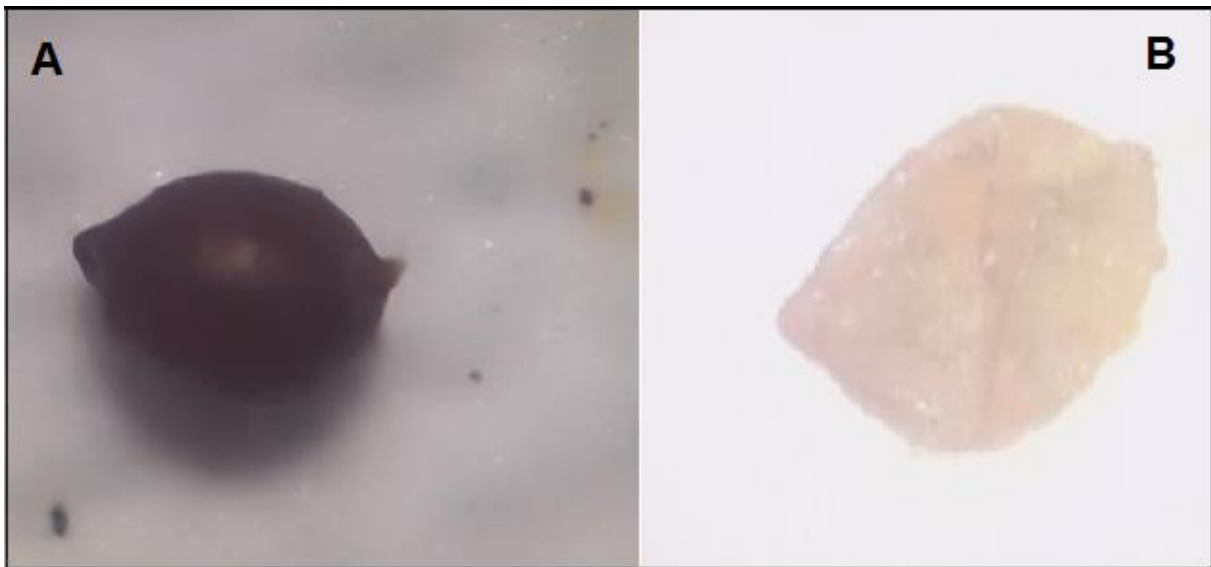


Figure 20 : Les kystes pleins (A) et les kystes ouverts (B) sous la loupe binoculaire (Gr. X20 ou Gr. X40) (Original).

III.5. Exploitation des résultats

Les données recueillies sur les taux d'infestations des parcelles de céréales par *Heterodera* sont analysées statistiquement afin d'évaluer les différences entre les stations d'étude. Pour cela nous avons fait appel à l'analyse de la variance one way et le test de kruskal-wallis en utilisant le logiciel le PAST, systat (GLM).

Chapitre IV. Résultats et discussion

IV.1. Variation des taux d'infestations des parcelles de céréales par les nématodes à kystes *Heterodera* selon les stations

Le degré d'infestation des céréales par le genre *Heterodera* a été exploré cinq stations de la wilaya de Tiaret qui sont Frenda, Houara, Rahwiya, Sid el Housni et Sidi Amar. Les résultats de la figure (21) montrent que toutes les stations prospectées sont infestées par les nématodes à kystes du genre *Heterodera*. Toutefois les infestations sont faibles, elles n'accèdent pas les 50% et varient selon les régions. Parmi ces zones Rahwiya a dévoilé une infestation élevée (35,10%), suivi par la station de frenda (26,06%). Alors que pour les trois dernières stations Sid el Hosni, Sidi Amar et Houara les taux d'infestations par *Heterodera* sont inférieurs à 20%. L'analyse statistique « Anova One Way » confirme des différences très significatives du degré d'infestation des céréales entre les régions prospectées, la probabilité associée est de ($p=0,0046$; $p<0,05$).

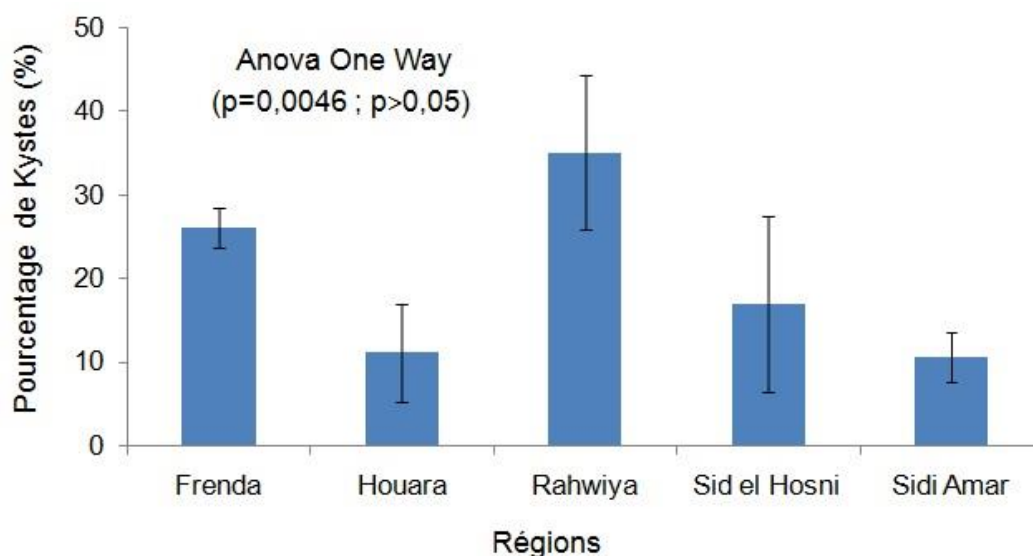


Figure 21 : Variation des infestations en fonction des stations

IV.2. Variation des taux d'infestations selon la forme des kystes dans les régions prospectées

La répartition des kystes selon leurs formes (kystes ouverts ou kystes pleins) montre d'une manière globale que le taux moyen des kystes ouverts est plus élevé que celui des kystes pleins (figure 22). Le pourcentage de kystes ouverts dépasse

Chapitre IV : Résultats et Discussion

légèrement celui des kystes pleins. Il est respectivement de (53,03%) et de (46,96%). L'analyse par le test de Kruskal-Wallis révèle une différence non significative entre les deux types de kystes ($p=0,317$; $p>0,05$).

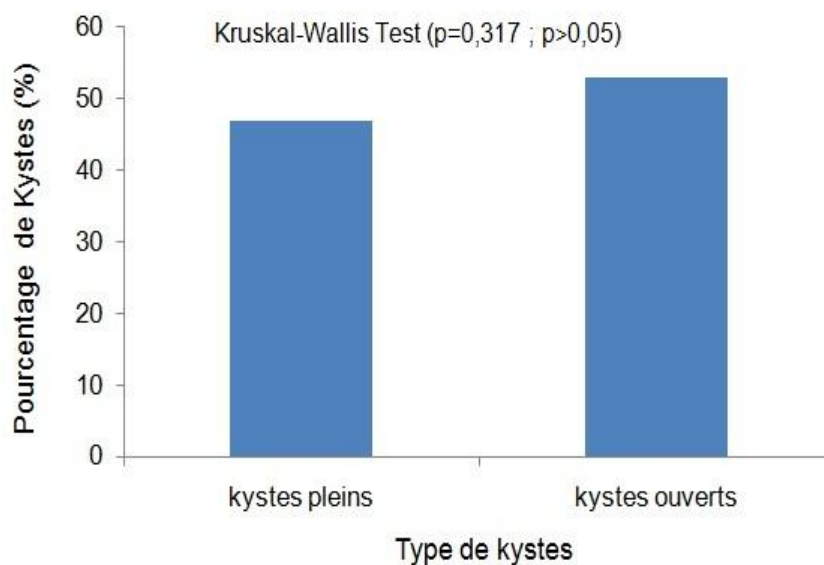


Figure 22 : Les taux d'infestation selon les types de kyste

Selon les stations prospectées (figure 23) les taux les plus élevés des kystes pleins et ouverts sont enregistrés dans la région de Rahwiya. Les taux respectifs sont de (37,5 et 33%). Par ailleurs, nous avons noté dans la station de Frenda une dominance de kystes ouverts (30%) par rapport aux kystes pleins (21,59%). Les taux les plus faibles d'infestations des céréales par les deux formes de kystes d'*Heterodera* sont observés dans les zones de Houara et Sidi Amar.

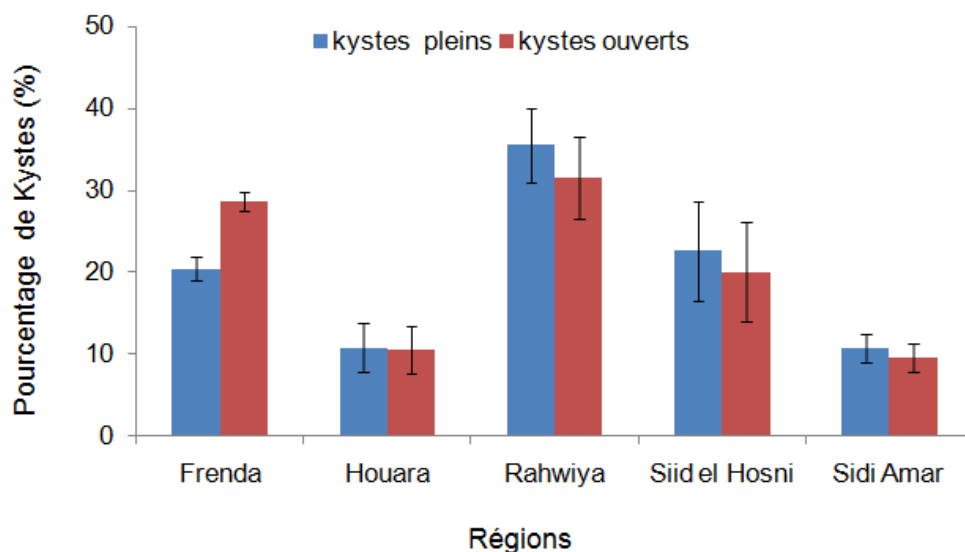


Figure 23: Taux d'infestation des types de kyste en fonction des stations

IV.3. Analyse de la variance Model GLM sur le la répartition des formes de kyste selon les stations

Pour interpréter nos résultats nous avons appliqué l'analyse de la variance modèle G.L.M. aux résultats obtenus. Le tableau 4 montre que le taux d'infestation par le type de kyste (ouvert ou plein) varie légèrement entre les stations ; l'analyse a discernée une différence marginale avec une probabilité de ($p=0,073$; $p<0,1$). Alors que le taux de kystes ouvert et plein est similaire donc la différence est non significative ($p=0,642$; $p>0,05$)

Tableau 4. Taux d'infestation selon la forme de kyste.

Source	Somme des carrés	DLL	moyen Carré	F-ratio	P
Régions	116,41	4	29,103	2,305	0,073
Forme des kystes	2,769	1	2,769	0,219	0,642
Erreur	580,897	46	12,628		

La figure 24 dévoile des infestations élevées dans les régions de Rahwiya et Sid el hosni et les plus faibles sont enregistrées dans les régions de Houara et Sidi Amar.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

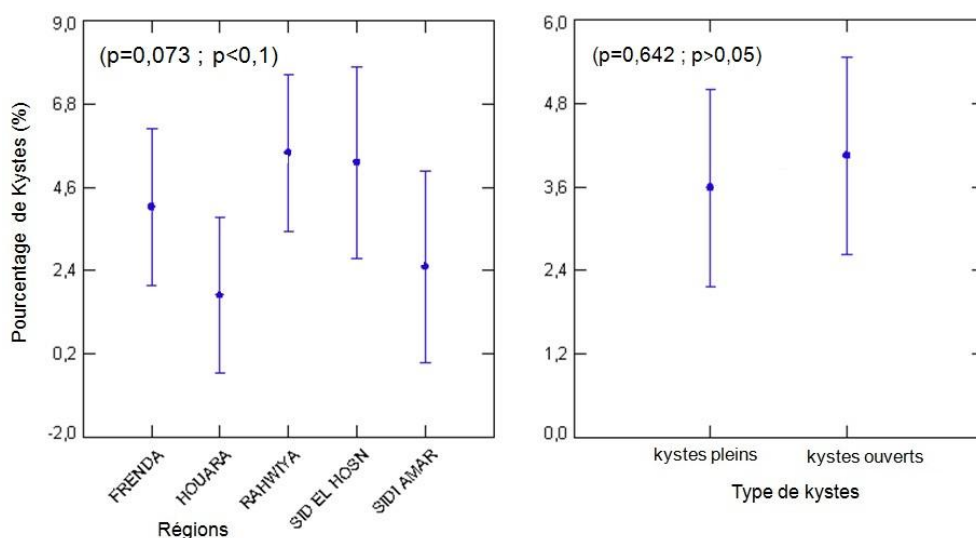


Figure 24: Variation des infestations en fonction des stations et du type de kyste

IV.4. Variation des taux d'infestation en fonction des cultures

Les taux d'infestation varient en fonction des cultures (figure 25). Nous constatons des taux plus élevés sur blé dur (66,47%), les plus faibles sont enregistrés sur blé tendre (03,40%). Alors que sur jachère aucune infestation par les kystes n'a été signalée (0%).

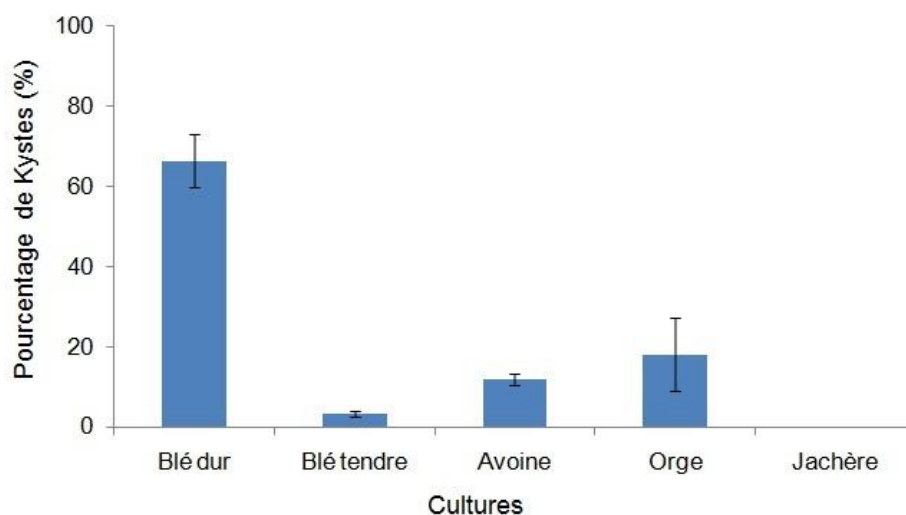


Figure 25 : Variation des infestations en fonction des cultures

IV.5. Variation des taux d'infestation des types de kystes en fonction des cultures.

Pour interpréter nos résultats nous avons appliqué l'analyse de la variance modèle G.L.M. aux résultats obtenus. Le tableau (5) montre que les infestations par le nématode à kystes varient significativement selon le type de culture. La probabilité associée est de ($p=0.043$; $p < 0.05$). Alors que la différence entre le nombre de kystes fermé et ouvert est non significative ($p=0.705$; $p>0.05$)

Tableau 5. Modèle G.L.M. appliquée à la variation du taux d'infestation par *Heterodera* selon les cultures

Source	Somme des carrés	DLL	moyen Carré	F-ratio	P
Cultures	125.521	4	31.380	2.706	0.043
Type de kyste	1.687	1	1.687	0.146	0.705
Erreur	487.104	42	11.598		

La figure 26 dévoile que le nombre des kystes d'*Heterodera* varie selon le type de céréale. L'avoine et le blé dur semble favoriser le développement du nématode à kyste (*Heterodera*). Alors que ce phytoparasite se multiplie faiblement sur orge et blé tendre. La jachère inhibe le développement du parasite. En ce qui concerne le type de kyste l'analyse montre qu'il y'a pas de différence entre les kystes plein et ouvert quelque soit la culture.

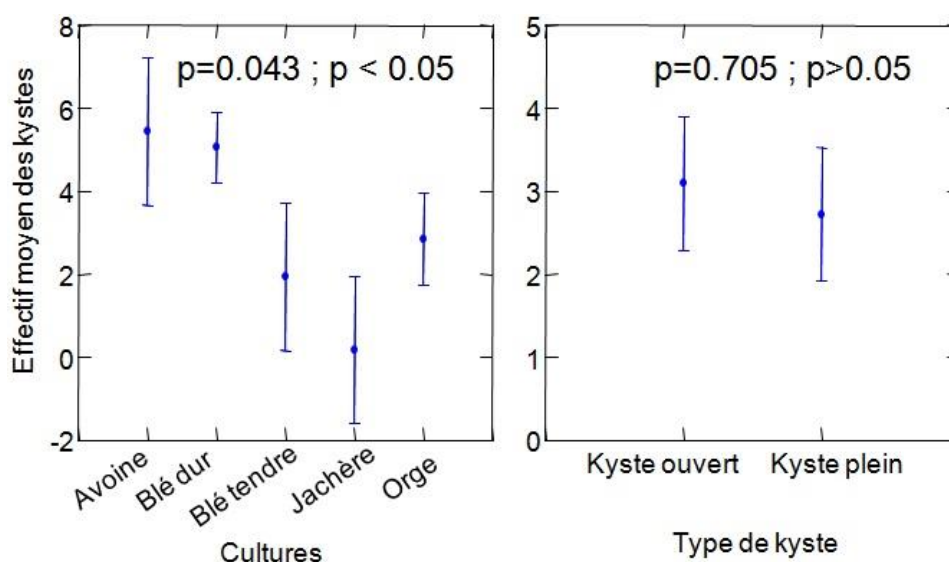


Figure 26 : Variation des infestations du type de kyste en fonction des cultures

IV.6. Variation des taux d'infestation des céréales en fonction du type de sol.

L'analyse des taux d'infestation des céréales par les nématodes à kyste « *Heterodera* » par la ACP explique l'effet du type du sol sur le développement et l'infestation du nématode des céréales. Le calcul de distance Euclidien sur la base de similarité de (-1,5), il en sort deux groupes hétérogènes (Figure 27 A et B).

Le premier groupe rassemble les sols limoneux argileux et limoneux sont placées à l'opposé des vecteurs qui portent les infestations par les kystes d'*Heterodera*. Ceci montre que ces sols affectent faiblement la multiplication des ces nématodes.

Le deuxième groupe réuni les sols limoneux sableux et argileux limoneux sableux, qui semble agir sur l'éclosion des nématodes à kyste vu que ces sols sont associés à ce groupe (2).

Le dernier type de sol représente le type argileux sableux, à qui sont orientés les vecteurs des kystes pleins et du nombre total des kystes. Ce type de sol s'avère favoriser la multiplication des nématodes des céréales.

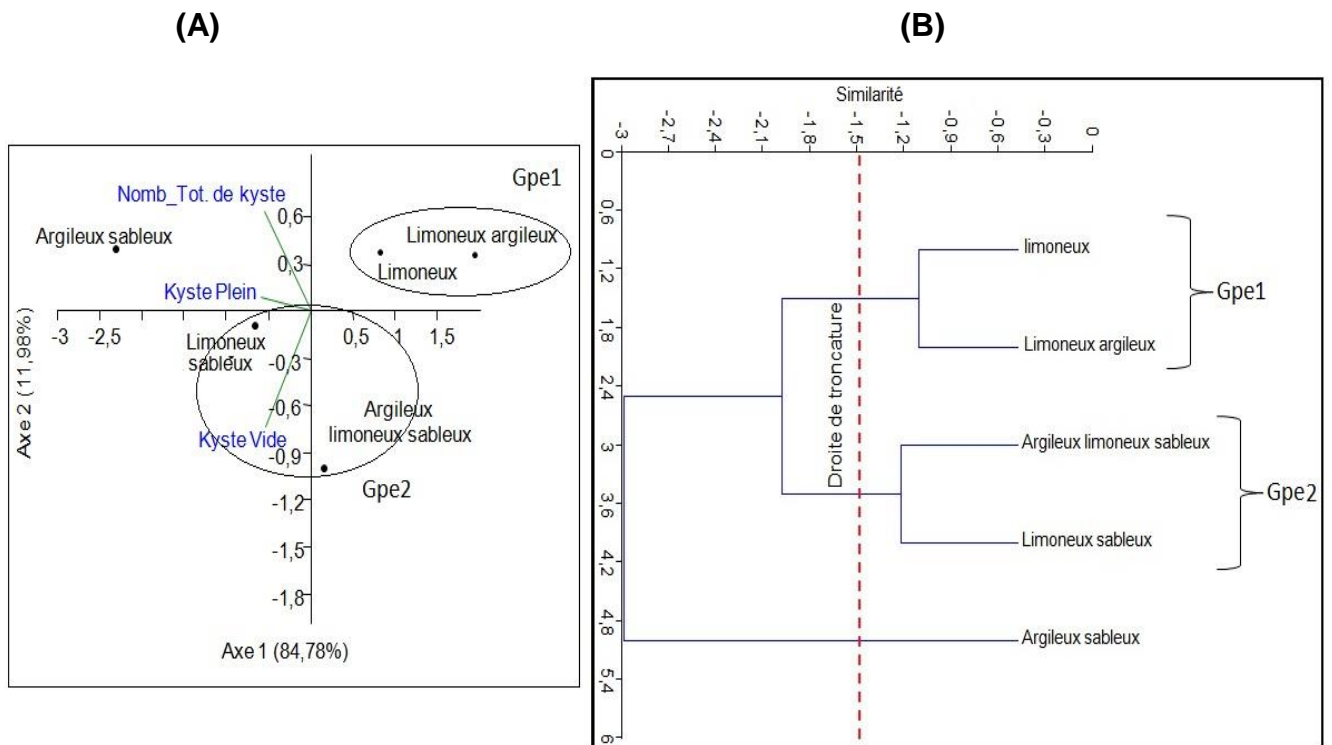


Figure 27 : Variation des infestations en fonction des différents types de sol

IV.7. Discussion

Le sol de la rhizosphère des plantes est un écosystème dynamique, complexe et en variations perpétuelles. Les plantes cultivées, la température, la texture du sol, les techniques d'aménagement et les pratiques culturales affectent la distribution et le degré d'abondance des nématodes ainsi que leur composition générique et spécifique (Mc Sorley, 2003 ; Bakonyi *et al.*, 2007).

L'analyse des données obtenues lors des prospections a montré que les taux d'infestation des parcelles céréales varient très significatives entre les régions prospectées ($p=0,0046$; $p<0,05$). Le taux d'infestation le plus élevé est observé dans le site de Rahwiya (35,10%), suivi par la station de frenda (26,06%). La différence des infestations selon les stations s'explique probablement par le type de céréale, la texture du sol et les conditions bioclimatiques. Ces hypothèses sont confirmées par divers études. Stephan (1989) affirme que la température est un facteur majeur influençant l'activité des nématodes et la durée de leur cycle de vie. Les températures optimales de développement varient en fonction des populations de nématodes (Netscher et Sikora, 1990). La survie des nématodes dépend de l'humidité du sol (Yeates, 1999), des taux compris entre 40 et 60% sont favorables au dynamisme des nématodes (Reddy, 1983).

Le taux d'infestation selon les formes des kystes (pleins ou ouverts) montre une différence non significative entre les deux types de kystes ($p=0,317$; $p>0,05$). Toutefois, le pourcentage de kystes ouverts dépasse légèrement celui des kystes pleins. A titre d'exemple dans la région de Frenda une dominance de kystes ouverts (30%) par rapport aux kystes pleins (21,59%). Le nombre élevé de kystes ouverts serait probablement en relation avec la plante hôte ou le précédent cultural qui n'ont pas favorisé l'éclosion des œufs du kyste. Selon Ferris et Van Gundy (1979) la plante hôtes affecte fortement la dynamique des populations des nématodes phytophages. Les exsudats racinaires des cultures stimulent et intensifient l'éclosion des œufs des nématodes à kyste comme chez *Heterodera* (Greco, 1981 ; Caubel et Chaubet, 1985 ; Di Vito, 1986).

Les taux d'infestation varient en fonction du précédent cultural et du type de sol. Le précédent cultural céréale et jachère ont contribué à la multiplication des

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Heterodera et l'infestation des sols par les kystes. Alors que orge et la pomme de terre non pas favorisé le développement du nématode à kyste. Par ailleurs la différence non significative quant à l'effet du type de sol dans la répartition des infestations du nématode à kystes ($p= 0,37$; $p>0,05$). Toutefois, les sols limoneux sableux et argileux limoneux participent faiblement à la multiplication de ce nématode. Divers travaux affirment que les pullulations des nématodes dans les sols sont la conséquence de pratiques culturales (Netscher et Sikora, 1990). Une bonne gestion des agro-écosystèmes par des alternances judicieuses dans le temps et dans l'espace de plantes hôtes avec des plantes non hôtes ou résistantes permet une réduction de l'inoculum des phytoparasites à un seuil tolérable (Gnonhour et Adiko, 2000).

En ce qui concerne le type de sol, les sols limoneux argileux, limoneux et argileux limoneux sableux participent faiblement à la multiplication des nématodes à kystes. Alors que, les sols limoneux sableux et argileux sableux semblent agir sur l'éclosion de ces nématodes. Selon Hadj-sadok Nebih (2015) les caractéristiques du sol affectent l'abondance, la distribution et la structure des communautés de nématode. Il existe des sols qui sont incompatibles avec la présence de certaines espèces de nématodes, et d'autres qui, au contraire, sont favorables à leur développement. D'après Labdelli (2015) les sols limoneux ne permettent pas une infestation élevée par les nématodes à kystes en comparaison aux sablonneux. Ces sols sont bien aérés et bien drainés favorisent la multiplication des nématodes ce qui augmente les infestations du sol.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, les résultats obtenus font ressortir que les taux d'infestation des parcelles de céréales varient selon les régions d'étude.

Le taux d'infestation le plus élevé est observé dans la station dans le site de Rahwiya suivi par la station de Frenda. Les plus faibles taux d'infestations par les kystes d'*Heterodera* sont observés dans les zones de Houara et Sidi Amar.

Le taux d'infestation selon les formes des kystes (plein ou ouvert) varie en fonction des stations prospectées. Les kystes ouverts abondent dans les sols du site de Frenda. En ce qui concerne les kystes ouverts, le taux le plus élevé est enregistré dans la région de Rahwiya (37,5%).

Les taux d'infestation varient en fonction du type de culture de céréales. Nous constatons que le blé dur est un hôte favorable à la multiplication de ce phytoparasite que le blé tendre. Cependant, la jachère inhibe le développement des nématodes à kyste.

Quant au type de sol, les sols limoneux argileux, limoneux et argileux limoneux sableux participent faiblement à la multiplication des nématodes à kystes. Alors que, les sols limoneux sableux et argileux sableux semblent agir sur l'éclosion de ces nématodes.

En perspectives il serait intéressant d'approfondir ces recherches sur d'autres régions à vocation céréalières et d'augmenter l'échantillonnage pour évaluer l'impact des infestations sur cette culture stratégique. De même il est important de prendre en considération la fécondité de ce parasite en fonction des conditions pédoclimatiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- **AHREN D. and TUNLID A., 2003** - Evolution of Parasitism in Nematode-Trapping Fungi. *The Journal of Nematology*, 35 (2): 194-197
- 2- **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
- 3- **ALAM M. S., NESA M. N., KHAN S. K., HOSSAIN M. B. and HOQUE A., 2007**- Varietal differences on yield and contributing characters of wheat under different levels of nitrogen and planting methods. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(11): 1388-1392.
- 4- **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
- 5- **Anderson, S., 1982**. Population dynamique and control of (*Heterodera avenae*). Nematode: note d'information N°. ACTA: 62p
- 6- **ANDERSEN S. and ANDERSEN K., 1982** - Suggestions for determination and terminology of pathotype and genes for resistance in cyst-forming nematodes especially *Heterodera avenae*. *EPPO Bulletin*, 12:379-386
- 7- **ANONYME, 1998**- Inventaire myrmécologique de la réserve naturelle volontaire trésor. Rapport de mission 10 au 25 janvier 2004, PP15-6919
- 8- **ANONYME, 2005**- http://algerroi.fr/Alger/documents_algeriens/economique/pages/66cereales_algerie.htm
- 9- **ANONYME, 2006**- Institut Technique des grandes cultures, Statistiques agricoles 2006.Docu. I.T.G.C. El Harrach. Alger. 10p.
- 10- **ANONYME, 2008**- Cartographie Arctique, http://www.articque.com/guide_metiers/secteuragriculture.html.
- 11- **ANONYME, 2012**- Reconnaître au champ Les nématodes (*Heterodera avenae* et *Pratylenchus spp.*) PERSPECTIVES AGRICOLES - N° 395. 51p.
- 12- **ANONYME, 2013**- Céréales : hausse de 5% de la facture des importations les dix premiers mois de 2013. Alger Press Service, lundi 2 décembre 2013, 3 p.
- 13- **ANONYME, 2016**- Office National de Météorologie (O. N. M).
- 14- **BAKONYI G., KOVACS –LANG E., REPASI V., ET SERES A., 2007**- Soil nematode community structure by temperature and moisture in temperate semiarid shrubland. *Applied soil. Ecology* .37(1), pp. 31-40
- 15- **BELAID D., 1996**- Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben Aknoun. Alger, 207 p.

- 16- BELAID A. 2000-** Durum wheat in WANA: Production, trade, and gains from technological change. *In*: Eds. Royo C., Nachit M. M., Di Fonzo N., Araus J.L.. Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. L'amélioration doublée dur dans la région méditerranéenne : Nouveaux défis. Option Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 40, pp : 35-49
- 17- 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.
- 18- Blaxter, M.L., Deley, P., Garay, J., Liu, L.X., Scheldeman, P., Vierstraete, A., Vanfleteren, J.R., Mackey, L.Y., Dorris, M., Frisse, L.M., Vida, J.T. and Tomas, W.K., 1998 –** A molecular evolutionary framework for the phylum *Nematoda*. *Nature* 392, pp.71-75
- 19- BLUMENTHAL T, DAVIS RE., 2004-** Exploring nematode diversity. *Nature Genet.* 36:1246-1247.
- 20- 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
- 21- BOVEY R., 1979-** La défense des plantes cultivées. Ed. La maison rustique, Paris, 863p.
- 22- BOUKHERCHA L., 2016-** Etude de la structure de la microfaune du sol des cultures marichères dans la région de Tiaret. Mémoire de Magister, En Sciences Agronomiques, Fac. S.N.V Univ. Saad Dahleb Blida.
- 23- BRIDGE J., COOKE R. and STARR J., 2002-** *Plant Resistance to parasitic nematodes*. Ed.CAB International, Wallington, UK., 247p
- 24- CAYROL J.C et Kerry B.R., 1988-** Etude préliminaire sur les possibilités d'utilisation des champignons parasites comme agent de lutte biologique. *Bull.OEPP*, V.12, N°4, pp. 497-503.
- 25- CAYROL J.C., DJIAN-CAPORALINO C. et PANCHAUD-MATTEI E., 1992-** *la lutte biologique contre les Nématodes phytoparasites*. Courrier de la Cellule Environnement de l'INRA, Paris, 17: 31- 44
- 26- CASAS-FLORES S. and HERRERA-ESTRELLA A., 2007-** Antagonism of plant parasitic nematodes by fungi. *In: The Mycota*. Eds. Kubicek C.P. Druzhinina I.S. Springer Berlin, Netherlands: 147–157
- 27- CAUBEL G., PERSON D.F., et RIVOAL R. ,1980-** Les nématodes dans les rotations céréalières. *Persp. agric.*, PARIS N° 36, PP 32 – 48.
- 28- CAUBEL G., et CHAUBET B., 1985-** Ecllosion et multiplication de *Heterodera schachtii* Schmidt en présence de colza ou de radis fourragers. *Agronomie*, 5, pp. 463-466
- 29- CHEN F and CHEN S., 2002 -** Mycofloras in cysts females and eggs of the soybean cyst nematode in Minnesota. *Applied Soil Ecology*. 19: 35-50

- 30- CHOPPIN DE JANVRY E., 1971.** Les nématodes des céréales. In : les nématodes des cultures. Ed. A. C. T. A., Paris, pp. 273-291
- 31- CIANCIO A., LEONETTI P. et ALBA G., 2002** -Indagini sull'applicazione in pieno campo dell'ifomicete *Verticillium chlamydosporium* per il controllo biologico di nematodigalligeni. *Nematol. medit*, 30:79-88.
- 32- CLEMENT-Grandcourt M. et PRATS J., 1970-** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. PP351-360.
- 33- CLEMENT-Grandcourt M. et PRATS J., 1971-** Les céréales. Baillièrè et fils, Paris-France, 351p.
- 34- COOK R. et YEATES G.W., 1993-** Nematodes pests of grassland and forage crops. Chapter.8 in Plant parasitic nematodes in temperate agriculture. Edited by K. Evans, D.L Trudgill and J.M Webster. Cab International, Wallingford, pp. 305-350.
- 35- COOK R. and RIVOAL R., 1998** - Genetics of resistance and parasitism. In: *The cyst nematodes*.Ed. Sharma S.B.: 322–352.
- 36- COOK R. and NOEL G.R., 2002** - Cyst nematodes: *Globodera* and *Heterodera* species. In: *Plant resistance to parasitic nematodes*. Ed. Starr J.L. Cook R. and Bridge J., CAB Int. Wallingford UK: 71-105
- 37- COYNE D.L., NICOL J. M. et COLE B.C., 2004** - *Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire*. Benin: 131-348.
- 38- DABABAT AA, PARIYAR S, NICOL J, DUVEILLER E., 2011-** Cereal cyst nematode: an unnoticed threat to global cereal production. CGIAR SP-IPM Technical Innovation Brief 11.
- 39- DACKMAN C. and NORDBRING-HERTZ B., 1985** - Fungal Parasites of the Cereal Cyst Nematode *Heterodera avenae* in Southern Sweden. *Journal of Nematology*, 17(1):50-55
- 40- DE GUIRAN G., 1983.** Les ennemis invisibles. Les nématodes. Ed. La littorale S. A., Béziers, 42P.
- 41- DI VITO M., 1986-** Effect of temperature and Fig root leachate on hatch of *Heterodera fici* .*Nematol, Medit.*, 14, pp 231-234.
- 42- Djekoun A. et Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A., 2002-** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie*, Université Mentouri Constantine. Numéro spécial D, 33-38
- 43- DJERMOUN A., 2009-** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*. 01: 45-53.
- 44- DORRIS M, DE LEY P, BLAXTER ML., 1999** - Molecular analysis of nematode diversity and the evolution of parasitism. *parasitology today*.15,188-93.

- 45- DOUSSINAULT G., KAAAN F. LECOMTE C. et MONNEVEUX P., 1992** - Les céréales à paille : présentation générale. In: Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. Gallais A. et Bannerot H., INRA, Paris, : 13-2
- 46- DUBOIS G. et FLODROPS B., 1987-** La protection des semences Ed. Bayer Agri-Nathan 96p.
- 47- DUPONT, 1982-** Hemicellulosic polymers from cell walls of beeswing wheat bran: Part I, polymers solubilised by alcali at 2 °. Carbohydr. Research 163: 99p
- 48- F.A.O, 2006** - Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture.68 p.
- 49- FEILLET P., 2000** - *Le grain de blé composition et utilisation : Mieux comprendre.* Ed. INRA, Paris, 308 p
- 50- FELDMAN M., 1976** - *Taxonomic classification and names of wild, primitive, cultivated, and modern cultivated wheat.* In: Evolution crop plants. Ed. Simonds N.W., London: 120-128
- 51- FERRIS, H and VAN GUNDY, S.D., 1979.** *Meloidogyne ecology and host interrelation ships.* In *Root knot nematode.* Ed.Lamberty and Taylor, Acad.Press. London, pp. 205-230.
- 52- FISHER, J.M. and HANCOCK, T.W., 1991-** Population dynamics of *Heterodera avenae* Woll. in South Australia. *Austr. J. Agric. Res.*, 42: 53-68
- 53- FISCHER R.A., BEYELEE D. and EDMEADS G.O., 2009** - *Can technology deliver on the yield challenge to 2015, paper prepared for expert meeting on " How to Feed the World in 2050".* FAO, Roma, June 2009: 24 -2
- 54- GAUGLER R. et BILGRAMI A., 2004-** Nematode behavior. Ed. CAB international, London, 419 p.
- 55- GNOUHOURI G.P. and ADIKO A.2000.** *Effet des cultures après jachère améliorée sur les populations des nématodes en cote d'ivoire.* In : Floret C. Pontanier R. et John L.E., Eds. La jachère en Afrique tropicale (Session III) Paris, France, pp.277- 282.
- 56- GODON B., 1991-** Les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. *In:* Godon B. (Ed.), Biotransformation des produits céréaliers. Ed. Lavoisier Tec & Doc, Paris, pp. 1-22.
- 57- GRECO N., 1981.**Hatching of *Heterodera carotea* and *H.avenae*. *Nematologica*, 27, pp. 366-371.
- 58- GRECO N., VOVLAS N., TROCCOLI A. and INSERRA R.N., 2002** - *The Mediterranean cereal cyst nematode Heterodera latipons: a menace to cool season cereals of the United States. Nematology Circular221. Florida Department of Agriculture and Conservation Services, Division of Plant Industry*
- 59- Green, C. D., & Plumb, S. C., 1970.** The inrerrelationships of some *Heoerodera* spp. Indicated by the specificiry of the male arnactanrs emined by their females. *Nemarologica*, 16 : 39-46

- 60- GRIFFIN G.D., 1988** - Factors affecting the biology and pathogenicity of *Heterodera schachtii* on sugar beet. *Journal of Nematology*, 20: 396 – 404
- 61- HADDADI F., MOKABLI A. et SMILEY R., 2013-** Characterization of virulence reaction for *Heterodera avenae* population from two localities in Algeria. *Phytoparasitica*, vol. 41 Issue 4, pp 449-456.
- 62- HADJ-SADOK NEBIH D., 2013.** *Etude de la diversité des communautés de nématodes associés aux cultures maraichères*. Thèse de Doctorat Biologie, Départ. Biologie, Fac. Sci. Agro. Véter. Et Biologie, Univ. Saad Dahleb Blida, 159p.
- 63- HANDOO Z., 2002** - A Key and Compendium to Species of the *Heterodera avenae* Group (Nematoda: Heteroderidae). *Journal of Nematology*, 34 (3):250-262.
- 64- HAUGI A., GHAZALI C. I., MAMANE K. N., MOUSSA A., ISSA K., PATRICK D., 2013** - Comment lutter contre les nématodes parasites des cultures maraichères par la solarisation ? Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRA), Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger (RNCA), 1p
- 65- HIDALGO-DIAZ L. and KERRY B. R., 2008** - Integration of biological control with other methods of nematode management. *In: Integrated Management and Biocontrol of Vegetable and Grain Crops*. Eds. Ciancio A. & Mukerji K. G., Springer Dordrecht The Netherlands: 29-49
- 66- HOLGADO R., ANDERSSON S. and MAGNUSSON C., 2006** - Management of cereal cyst nematodes *Heterodera* spp. in Norway. *Comm. Appl. Biol. Sci.* 71 (3a):7.
- 67- IBRAHIM A.A.M., AI HAZMI A.S., AI YAHYA F.A. et ALDERFASI A.A., 1999-** Damage potential and reproduction of *Heterodera avenae* on wheat and barley under Saudi field conditions. *Nematol.*, 1:625-630.
- 68- JONSSON H.B. and LOPEZ-LLORCA L. V., 2001-** Biology of nemato-phagous fungi. *In: Mycology: Trichomycetes other fungal groups and mushrooms*. Ed. Misra J. K. and Horn B. W., *Science Publishers*: 145-173.
- 69- KERRY B.R. and CRUMP D.H., 1980** -Two Fungi parasitic on females of cyst nematodes (*Heterodera* spp.). *Trans. Br. mycol. Soc.* 74 (1): 119-125
- 70-KERRY B.R., CRUMP D.H. and MULLEN L.A., 1982** - Studies of the cereal cyst nematode *Heterodera avenae* under continuous cereals 1975-1978. II. Fungal parasitism of nematode females and eggs. *Annals of Applied Biology*. 100: 489-499
- 71- Kerry, B.R. 1988.** Fungal parasites of cyst nematodes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 24 : 293- 305
- 72- KERRY B.R. and HIRSCH P.R., 2011** - Ecology of *Pochonia chlamydosporia* in the Rhizosphere at the Population Whole Organism and Molecular Scales. *In: Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Building Coherence between Microbial Ecology and Molecular Mechanisms Progress in Biological Control*. Eds. Davies K. and Spiegel Y.:171-182
- 73- LABDELLI F., 2015.** – Etude du nématode à kyste *Heterodera avenae* Wollenweber, 1924 (Tylenchida, Heteroderidae) des céréales dans la région de Tiaret. Thèse Doctorat en Science. Université Ibn Khaldoun de Tiaret. 109p.

- 74- LAFFONT J.M., 1985-** Les maladies des céréales et du maïs, CIBA-GEIGY/ACRI-NATHAN 96p.
- 75- LAMBERTI F., GRECO N. et ZAOUCHI H., 1975-** Etude sur les nématodes chez les palmiers dattier et autres cultures importantes en Algérie. Bull. Phytosanit. F.A.O., N° :23, pp.156-161.
- 76- LERIN F., 1986** - Céréales et produits céréaliers en méditerranéen. Ed. Montpellier ; pp 81 ; 93
- 77- LOPEZ-LLORCA L.V., BORDALLO J.J., SALINAS J., MONFORT E. and LOPEZ-SERNA M.L., 2002** - Use of light and scanning electron microscopy to examine colonization of barley rhizosphere by the nematophagous fungus *Verticillium chlamydosporium*. *Micron* 33: 61-67.
- 78- Mackenzie. D., Peterson. D. w., Peterson. D. L., & Thornton. P. E., 2000** - Climatic and biophysical controls on conifer species distributions in mountain forests of Washington State, USA, *Journal of Biogeography*, 30, 1093–1108.
- 79- MADANI M., 2004-** Molecular characterization of cyst nematode species (*Heterodera* spp.) from the Mediterranean basin using RFLPs and sequences of ITS-rDNA. *Phytopath.* 152: 229-234.
- 80- Maqbool M.A., 1988:** Present status of research on plant parasitic nematodes in cereals and food and forage legumes in Pakistan. In: SAXENA M.C., SIKORA R.A., SRIVASTAVA J.P. (eds): *Nematodes Parasitic to Cereals and Legumes in Temperate Semi-Arid Regions*. ICARDA, Aleppo, Syria: 173–180
- 81- MASCLET J.P., 2016** - La question de développement, MONSIEUR JARDINIER sur www.rts.ch/monsieurjardinier - Twitter #RTSjardin - Facebook www.facebook.com/monsieurjardinier
- 82- MC SORLEY R. (2003).** Effect of subsurface clay on nematode communities in a sandy soil .*Applied soil Ecology* .19 :1-11
- 83- MEAGHER J. W., 1977-** World dissemination of the cereal-cyst nematode (*Heterodera avenae*) and its potential as a pathogen of wheat. *Journal of Nematology* 9:9–15.
- 84- MENSI I., KALLEL S. et NAMOUCHI KACHOURI N. 2011** Recherches sur des antagonistes naturels d'*Heterodera avenae* dans diverses conditions de cultures de blé dur, « *Triticum durum* », en Tunisie. *Nematol. medit.* (2011), 39: 141-149
- 85- MITCHINSON S., 2009** - *New cyst nematode threats to cereals in the UK*. Project No. RD-2005-319039P., PhD Summary Report No.13, *Nematode Interactions Unit*, Rothamsted Research Harpenden.29 p
- 86- MOKABLI A., VALETTE S., GAUTIER J.R. et RIVOAL R., 2001.** Influence of temperature on the hatch of *Heterodera avenae* Woll. populations from Algeria. *Nematology*, 3 (2), 171-178.
- 87- MOKABLI A., VALETTE S., GAUTIER J.R. et RIVOAL R., 2002-** Variation in virulence of cereal cyst nematode population from north Africa and Asia. *Nematology* volume, N°: 04, pp-521-525.

- 88- MOKABLI A., 2002-** Biologie des nématodes à kystes (Heterodera) des céréales en Algérie. Virulence de quelque population à l'égard de diverses variétés et lignées des céréales. Thèse Doct., Inst. Nat. Agro., El Harach 63p.
- 89- MOR M., COHN E. and SPIEGEL Y., 1992-** Phenology pathogenicity and pathotypes of cereal cyst nematodes *Heterodera avenae* and *H. latipons* (Nematoda: Heteroderidae) in Israel. *Nematologica*. 38: 494–501.
- 90- MULDER L., HOGG B, BERSOULT A, CULLIMORE JV., 2005** - Integration of signaling pathways in the establishment of the legume-rhizobia symbiosis. *Physiol. Plant* 123, pp. 207-218
- 91- MULVEY R.H., 1972-** Identification of *Heterodera* cyst by terminal and cone top structures. *Can. J. Zool.* 50: 1277-1292
- 92- NAMOUCHI K.N. et B'CHIR M.M., 2004-** Distribution des principaux nématodes associés aux céréales en Tunisie Annales de l'INRAT 77, 137-147.
- 93- NETSCHER C. AND SIKORA A., 1990.** Nematode parasites of vegetables. In plant *parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* Ed. Luc, M.; Sikora, R.A.; Bridge, J. CAB International, Wallingford, Royaume- Unit., pp.237-238.
- 94- NICOL J.M., 2002** - Important nematode pests of cereals. In: *Bread wheat: Improvement and production*. Ed. Curtis B.C., Rajaram S., and Macpherson G., Plant Production and Protection Series, No.30. FAO, Roma: 345-366
- 95- NICOL J., R. RIVOAL S. TAYLOR AND ZAHARIEVA M., 2003-** Global importance of cyst (*Heterodera* spp.) and lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) on cereals: yield loss, population dynamics, use of host resistance and integration of molecular tools. *Nematology Monographs and Perspectives* 2:1-19.
- 96- NICOL J.M. and RIVOAL R., 2008** - Global knowledge and its application for the integrated control and management of nematodes on wheat. In: *Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crop nematodes*. Eds. Ciancio A., Mukerji K.G., Springer Academic Publishing: Dordrecht, Netherlands: 251- 294.
- 97- OAIC, 2013** - Note de Conjoncture 3ème Trimestre 2013. Documents internes OAIC, 11p.
- 98- PERSON-DEDRYVER F., 1989.** Les nématodes. In: *Ennemis et maladies des prairies*. Ed. INRA, pp. 173-177.
- 99- RAMADE F., 2003-** Elément d'écologie fondamentale. 3ème édition, Ed. Dunod, Paris, 690p.
- 100- RAMMAH A., 1994-** Cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Morocco. Arab and Near East Plant Protection Newsletter, 19:40.
- 101- Rastoin J.L. et Benabderrazik E. H., 2014** - l'Institut de prospective économique du monde méditerranéen (Ipemed)
- 102- RAVICHANDRA N.G., 2008** - *Plant Nematology*. I. K. International Publishing House. New Delhi: 693p.
- 103- REDDY P.P., 1983** - *Plant nematology*. Agric. Publish. Acad., India, 287p
- 104- RENCO M., 2005** - Current occurrence and distribution of *Heterodera avenae* in the Slovak Republic. *Plant Protect. Sci.* 41:80-85

- 105- RILEY I.T., NICOL J.M. and DABABAT A.A., 2009** - *Cereal cyst nematodes: status research and outlook*. Ed. CIMMYT, Ankara, Turkey, 242 p
- 106- RIVOAL R. ,1973.** Etude de la nuisibilité du nématode à kystes des racines de céréales (*Heterodera avenae* Woll.) en France et des causes de sa variabilité. C.R. Acad. Agric. 12, 959-970
- 107- RIVOAL R., PERSON-DEDRYVER F., CAUBEL G. et SCOTTO La MASSES C., 1978-** Méthodes d'évaluation de la résistance des céréales au développement des nématodes : *Ditylenchus dipsaci*, *Heterodera avenae* et *Pratylenchus* sp. *Annales d'Amélioration des Plantes*. 28, 371-394
- 108- RIVOAL R. COOK, R., 1993.** Nematode pests of cereals. In K. Evans, D. L. Trudgill and J. M. Webster (Eds.), *Plant parasitic nematodes in temperate agriculture* (pp. 259-303). U. K.: CAB International.
- 109- Rivoal, R., Bekal, S., Valette, S., Gauthier, J.P., Bel Hadj Fradj, M., Mokabli, A., Jahier, J., Nicol, J. & Yahyaoui, A. 2001-** Variation in reproductive capacity and virulence on different genotypes and resistance genes of Triticeae in the cereal cyst nematode species complex. *Nematology*
- 110- RIVOAL R., VALETTE S., BEKAL S., GAUTHIER J.-P., AND YAHYAOU I. A. 2003-** Genetic and phenotypic diversity in the graminaceous cyst nematode complex, inferred from PCR-RFLP of ribosomal DNA and morphometric analysis. *European Journal of Plant Pathology* 109: 227-241
- 111- RIVOAL R. et BOURDON P., 2005** - Sélection du ray-grass d'Italie pour la résistance au nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*). *Fourrages* 184 : 557- 566.
- 112- RIVOAL R. and NICOL J. M., 2009-** *Past research on the cereal cyst nematode complex and future needs in cereal cyst nematodes:Status research and outlook*.Eds. Riley I.T., Nicol J.M. and Dababat A. A.: 3-9.
- 113- RODRIGUEZ-KABANA R., 1986** - Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology*. 18: 129-135.
- 114- ROMERO D., 1982.** Nuevos datos sobre la morfología de *Heterodera avenae* en España. *Rev. Nematol. Medit.*, N°18, pp. 145-149
- 115- SACRISTEN J.C., SANCHEZ A. et BELLO A., 1983.** Interés de los recursos Filogenéticos y de las variedades resistentes en control de *Heterodera avenae* woll., Nematodo específico de los cereales en España. IN : Los recursos filogenéticos y las nuevas Variedades vegetales : su impacto en el sector agrario. ITEA. A.extra, (2), Espagne, pp, 33-347
- 116- SAYRE R.M., 1986** - Pathogens for biological control of nematodes. *Crop protection*. 5 (4): 268-276
- 117- SCOTTO LA MASSESE C., 1961-** Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie. Journée d'étude et d'information, Versailles, 83-109

- 118- SEIFI S. and BIDE A.K., 2013** - Effect of Mineral Fertilizers on Cereal Cyst Nematode *Heterodera filipjevi* Population and Evaluation of Wheat. *World Applied Programming*, 3 (4):137-141
- 119- SHEPHERD A. M., CLARK S.A. et KEMPTON A., 1972.** Cuticule structure in the genus *Heterodera*. *Rev. Nematologica*, V. 18, Leiden, pp. 1-17
- 120- SHEPHERD A. M., CLARK S.A. et KEMPTON A., 1973.** Cuticule structure in the genus *Heterodera*. *Rev. Nematologica*, V. 18, Leiden, pp. 1-17.
- 121- SIDDIQI A. et KHAN M.W., 1986-** Nematodes causing damage to wheat corps Libya. *International Nématologie Network- Newsletter* 3:23.
- 122- SIKORA R. A., 1987** - Plant parasitic nematodes of weat and barley in temperate -semi-arid region comparative analysis. In "Nematodes parasitic to cereal and legumes in temperate semi-arid regions." *Aleppo*, pp. 46-68
- 123- SMAHA D., 2002-** Etude de l'influence de la culture de pois chiche sur le développement d'une population d'*Heterodera avenae*. *2 ème conf.inter.moyen alter. Lutte contre les organismes nuisibles aux végétaux. Annales communication affichées*, pp.37-41.
- 124- SMAHA D., HARMOUN O. et MOKABLI A., 2009-** Soil temperature and hatching of *Heterodera avenae* in Algeria. Proceeding of the first workshop of the international cyst nematode initiative, 21-23 October 2009, Antalya, Turkey, 130-133.
- 125- SMILEY R.W., R.E. INGHAM W. UDDIN AND G.H. COOK 1994-** Crop sequences for winter wheat in soil infested with cereal cyst nematode and fungal pathogens. *Plant Dis.* 78:1142-1149
- 126- SMILEY R.W. and YAN G.P., 2010** - *Oregon State University. Cereal cyst nematodes: Biology and management in Pacific Northwest wheat barley and oat crops.* A Pacific Northwest Extension Publications, project PNW 520. Oregon State University, 9 p.
- 127- STEPHAN Z.A., 1989** .Threshold temperature, thermal acclimatation and the effect of temperature on development of *Meloidogyne hapla* and potato. *J., Agric. Water Resources Research* 8 (1) pp 43- 53.
- 128- STONE A. R. and HILL A. J., 1982-** Some problems posed by the *Heterodera avenae* complex. *Bulletin OEPP*, 12:317–320
- 129- STONE A.R. 1977.** Recent developpements and some problems in the taxonomy of *Heterodera*. *Rev. Nematologica*. V. 23, Leiden, pp. 273-288.
- 130- STRILING G.R., 1991.** *Biological control of plant parasitic nematodes: progress, problems and prospects.* CAB International, Wallingford, UK, 282 pp.
- 131- STURHAN D., 1982-** Species identification of European cereal and grass cyst nematodes by larval characters. *EPPO Bulletin* 12: 335-339
- 132- SUBBOTIN S. A., STURHAN D., RUMPENHORST H. and MOENS M., 2003-** Molecular and morphological characterisation of the *Heterodera avenae* species complex (Tylenchida: Heteroderidae). *Nematology*, 5:515-538

- 133- SUBBOTIN S.A., MUNDO-OCAMPO M. and BALDWIN J.G., 2010** – Description and diagnosis of *Heterodera* species. In: *Systematics of cyst nematodes (Nematoda: Heteroderinae)*. Ed. Hunt D.J. and Perry R.N, Leiden, Brill, Netherlands: 35- 449
- 134- TAYLOR A.L., 1968.** *Introduction à la recherche sur les nematodes phytoparasites*. Manuel F.A.O., Rome, 135 p.
- 135- TAUPIN P., 1987-** Les nematodes phytophages des cultures céréalières. Pesp. Agric. N°120, pp. 14-17.
- 136- VERTUCCI C.W., 1989** - The kinetic of seeds imbibition controlling factors and relevance to seedling vigor. In: *Seed Moisture CSSA, special publication*.14: 93 -.115
- 137- VOVLAS N., 1985.** Morphology and histology of the cereal cyst-nematode, *Heterodera avenae* Woll., attacking wheat, oat and barley in Italy. *Rev. Nematol. Medit.*, V. 13, pp. 87-96.
- 138- WHITEHEAD A.G., 1998.** Plant nematode control. (CAB International: Wallingford, UK). 384 p.
- 139- WILIAMS T. D. et SIDDIQI M.R., 1972.** *Heterodera avenae*. In: descriptions of plant parasitic nematodes. *Commonwelth Institute of Helminthology* set. N°2, clows et Sons Ltd, London, 4p
- 140- WOUTS W.M., 1972.** A version of the family *Heteroderidae* (nematode, Tylenchoidae) 1- The family *Heteroderidae* and its subfamilies. *Rev. Nematologica*, V. 18, Leiden, pp. 439- 446
- 141- WOUTS W. M. and BALDWIN J. C., 1998** - Taxonomy and identification. In: *The cyst nematodes*, Ed. Sharma S.B., UK, *Kluwer Academic Publishers*, London: 83-122.
- 142- WOUTS W. M., SCHOEMAKER A., STURHAN D. and BURROWSP. R., 1995** -*Heterodera spinicauda* sp.n.(Nematoda: Heteroderidae) from mud flats in The Netherlands with a key to the species of the *H. avenae* group. *Nematologica*.41: 575–583
- 143- YVES H. et JACQUES de BUYSER, 2000-** L'origine des blés, *Pour la Science*, Hors-série n°26, janvier 2000, p 60-62.
- 144- ZABAT R., 1980** - *Evolution de la production céréalière en Algérie*. Th. Ing. Sci. Eco., Univ. Constantine, 70 p.