

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach- Alger
المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية – الحراش – الجزائر

Thèse

Département: Zoologie Agricole et Forestière

En Vue de l'obtention du diplôme du Doctorat LMD en Sciences Agronomiques

Thème

Etude des nématodes à kystes des céréales du genre Heterodera dans les régions du nord de l'Algérie. Essai de comportement de 4 variétés de blé dur vis-à-vis de ce nématode.

Réalisée par M^{elle} : MEHALAINE Khawla.

Soutenu le :

Jury :

Président : M. DOUMANDJI S. Professeur à l'ENSA.

Encadreur: M.HAMMACHE. Professeur à l'ENSA.

Examineurs :

M^{me}. MOUHOUCHE F. Professeur (l'E.N.S.A) .El Harrach

M^{me}. HADJ-SADOK NEBIH D. M.C.A. (Univ Saad Dahlab) .Blida

M. MOKABLI A. Professeur (Univ. D.Bounaama) Khemis Miliana

Promotion : 2016-2021

Remerciements

A l'issue de la rédaction de cette recherche, je suis convaincue que la thèse est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail doctoral sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité, la bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche m'ont permis de progresser dans cette phase délicate de « l'apprenti-chercheur ».

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, Tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, monsieur HAMMACHE Miloud, Professeur au département de Zoologie agricole et forestière, à l'école nationale supérieure agronomique, El Harrach, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail doctoral, pour ses multiples conseils, Merci de m'avoir fait profiter de vos compétences scientifiques.

J'exprime ma reconnaissance à monsieur DOMANDJI .S, Professeur au Département de Zoologie agricole et forestière de l'école nationale supérieure d'agronomie, pour avoir bien voulu accepter de présider le jury de cette thèse. J'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension, ses conseils judicieux, j'ai apprécié sa grande disponibilité, ses connaissances, ses critiques et ses conseils constructifs m'ont guidé tout au long de cette thèse. Merci énormément !

J'exprime mon profond respect et mes vifs remerciements M.MOKABLI .A, Professeur à Univ Bounaama Khimis Miliana, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

J'exprime mon profond respect et mes vifs remerciements à M^{me} Mouhouche.F, Professeur à l'ENSA, El Harrach, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens à remercier aussi très chaleureusement M^{me} HADJ-SADOK NEBIH, Maitre de conférences A à l'université de Saad Dahlab Blida, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

J'ai l'immense plaisir d'adresser mes plus sincères remerciements à M. Dababat Abdelfattah, Docteur en nématologie (Centre international d'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT), Ankara, Turquie. Pour la chance qu'il m'a donnée en acceptant ma demande pour faire un stage de courte durée dans le laboratoire de nématologie, Grace à vous, j'ai fait connaissance avec le monde des nématodes, Merci de m'avoir fait profiter de vos compétences scientifiques, Merci pour votre immense aide lors de la contribution à la réalisation et la correction de l'article.

Je tiens à remercier aussi très chaleureusement Dr Mustafa İmren (Laboratoire de nématologie) et Dr Göksel Özer (Laboratoire de Biologie moléculaire), Université Bolu Abant İzzet Baysal, Golkoy, Turquie) pour m'avoir accueillie dans leurs

Remerciements

laboratoires pour faire l'identification moléculaire des nématodes dans les meilleurs conditions, ainsi, pour leur contribution à la réalisation et la correction de l'article.

A cet effet, j'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants, les étudiants, de l'Université de Bolu Abant Izzet Baysal, Turquie plus particulièrement Nagihan D ; Mustafa Said B ; Sevem A, Dr Abdurrahman Sami K, Dr Gulay kaca, pour leurs accueil, leurs qualités humaines et leur aide durant mon séjour.

J'adresse mes vifs remerciements au Centre international d'amélioration du maïs et du blé CIMMYT-Turquie , pour financer l'étude moléculaire par le programme (the Soil Borne Pathogens), ainsi , Dr Gul Erginbas Orakci et son équipe très professionnels, pour m'accueillir dans le laboratoire de protection des végétaux (CIMMYT-Turquie), et m'offrir un stage d'un mois dans des conditions très favorables .

J'adresse mes sincères remerciements à M^{lle} Djebroune Asma, maitre assistant B à l'université Djilali Bounaama Khemis Miliana, qui par ses paroles, ses écrits, ses conseils et ses critiques a guidé mes réflexions, ces orientations tout en long de ce travail. Ainsi que sa contribution à la réalisation des analyses statistiques.

Je tiens à remercier aussi très chaleureusement Baba Ali Djafer, Maitre assistant au département de zoologie agricole et forestière à l'ENSA, pour son aide généreuse, ses critiques constructives, ainsi pour sa contribution à la réalisation des analyses statistiques.

J'exprime ma reconnaissance et mes vifs remerciements à Dr Mansori, Département de génie rural à l'école nationale supérieure d'agronomie, pour la contribution à la réalisation des analyses statistiques

J'associerai à ces remerciements les services agricoles, les agriculteurs et les producteurs des céréales en Algérie qui m'ont permis de mener à bien l'échantillonnage et les sorties sur les parcelles prospectées dans les différentes régions.

Je suis reconnaissante à tous les enseignants et l'ensemble du personnel du département de Zoologie Agricole et Foresterie (ENSA) pour leur soutien, et leurs encouragements. Merci à tous les étudiants de laboratoire de nématologie, pour l'ambiance du travail au labo.

Mes vifs remerciements vont à mes parents pour leur soutien quotidien indéfectible, pour l'amour et les sacrifices, Que Dieu le tout puissant vous garde, Merci à mon frère, mes sœurs qui, avec cette question récurrente, « quand est-ce que tu la soutiens cette thèse ? », bien qu'angoissante en période fréquente de doutes, m'ont permis de ne jamais dévier de mon objectif final.

Remerciements

Ces remerciements ne peuvent s'achever, sans une pensée pour mon cousin Messai. R, Merci pour les critiques constructives, le soutien moral, tes encouragements sont pour moi les piliers fondateurs de ce que je suis et de ce que je fais.

Merci a tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail.

Khawla

Sommaire

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

PREMIER CHAPITRE : Synthèse bibliographique

I.1. Données sur la céréaliculture.....	4
I.1.1. Biogéographie, importance et historique des céréales.....	4
I.1.1.1. Dans le monde.....	4
I.1.1.2. En Algérie.....	5
I.1.2. Biologie des céréales.....	6
I.1.2.1. Stades BBCH de maturité des végétaux.....	6
I.1.3. Ravageurs des céréales en Algérie.....	8
I.1.3.1. Les maladies des céréales.....	9
I.1.3.2. La rouille noire.....	9
I.1.3.3. La carie.....	9
I.1.3.4. Le charbon.....	9
I.1.3.4.1. Charbon nu.....	9
I.1.3.5. Septorioses	9
I.1.3.6. Le charbon couvert.....	9
I.1.3.7. Fusarioses	9
I.1.3.2. Insectes des céréales.....	7
I.1.3.2.1. La punaise des céréales.....	7
I.1.3.2.2. Le ver blanc.....	10
I.1.3.2. Insectes des céréales.....	10
I.1.3.2.1. La punaise des céréales.....	10

I.1.3.2.2. Le ver blanc.....	10
I.1.3.2.3. Les oiseaux.....	10
I.1.3.2.4. Les rongeurs.....	10
1.2. Données sur les nématodes à kystes des céréales du genre <i>Heterodera</i>	11
I .2.1. Généralités sur <i>Heterodera Spp</i>	11
I .2.2. Historique.....	11
I .2.3. Position systématique.....	12
I .2.4. Répartition de quelques espèces du genre <i>Heterodera</i>	12
I.2.4.1. <i>Heterodera aveane</i>	12
I .2.4.2. <i>Heterodera latipons</i>	13
I .2.4.3. <i>Heterodera filipjevi</i>	14
I .2.4.4. <i>Heterodera carotae</i>	15
I .2.4.5. <i>Heterodera cruciferae</i>	16
I .2.4.6. <i>Heterodera hordecalis n.sp</i>	16
I.2.5. Les dégâts causés par les Nématode à kyste du genre <i>Heterodera</i>	17
I .2.6. Identification des espèces <i>Heterodera</i>	18
I .2.7. Biologie.....	18
I. 2.7.1. Biologie de la relation avec la plante hôte.....	23
I .2.8. Symptômes.....	23
I .2.8.1. En plein champs.....	23
I .2.8.1.1. Sur les feuilles.....	23
I .2 .8.1.2. Sur les racines.....	23
I .2.9. Méthodes de lutte.....	25

DEUXIEME CHAPITRE

Etat d'infestation et biogéographie des nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* en Algérie

II .1. Description de la région d'étude.....	27
II .1.1. Subhumide.....	29
II .1.2. Semi aride.....	30

II .1.3.Aride.....	31
II .2.Méthodologie de travail	32
II .2.1. Analyse nématologique.....	32
II .2.1.1.Echantillonnage de sol.....	32
II .2.1.2 Extraction des kystes.....	32
II .2.1.3. Récupération des kystes.....	33
II .2.1.4. Extraction des larves à partir du sol.....	33
II .3. Evaluation de l'infestation en fonction des régions.....	35
II .4. Analyse statistique.....	35
II .5. Résultat	36
II .5.1. Evaluation de l'infestation des régions prospectées.....	36
II .5.2. Analyses statistiques.....	42
II .5.2.1. Analyse de la variance.....	42
II .5.2.2. Classification hiérarchique.....	42
II .6. Discussion.....	45

TROISIEME CHAPITRE

Identification moléculaire de quelques populations algériennes de nématodes à kystes des céréales du genre Heterodera

III .1. Matériel et méthodes.....	51
III .1.1.Matériel biologique.....	51
III .1.2. Identification moléculaire.....	51
III .1.2. Analyse phylogénétique.....	55
III .2. Résultat.....	57
III .2.1. Identification moléculaire.....	57
III .2.2. Analyses phylogénétiques	59
III .3. Discussion.....	62

QUATRIEME CHAPITRE

Etude du comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae* Woll. (Nematoda, Heteroderidae)

IV.1. Matériel et méthodes.....	66
IV.1.1. Matériel végétal.....	66
IV.1.2. Matériel biologique.....	66
IV.1.3. Préparation des semences.....	67
IV.1.4. Itinéraire technique de l'essai.....	67
IV.1.5. Dispositif expérimental.....	70
IV.1.5.1. Entretien des cultures.....	70
IV.1.5.2. Fertilisation.....	70
IV.1.5.3. Traitements phytosanitaires.....	71
IV.1.6. Les maladies rencontrées.....	72
IV. 1.7. La récolte.....	72
IV. 1.8. Les paramètres mesurés.....	73
IV. 1.8.1. Paramètres de croissances.....	73
IV.1.8. 2. Paramètres de rendement.....	73
IV.1.9. Reproduction des nématodes.....	74
IV.2. Analyse des données.....	76
IV.3. Résultats.....	76
IV.3.1. Paramètres de croissances et composantes de rendement.....	76
IV.3.1.1. Variété de Hedba 3.....	78
IV.3.1.2. Variété de Mohamed Ben Bachir.....	78
IV.3.1.3. Variété Ofanto.....	79
IV.3.1.4. Variété de Simeto.....	79
IV.3.2. Le taux de reproduction de nématode à kyste en pots.....	80
IV.3.3. rendement des variétés testées.....	82
IV.4. Discussion.....	84
Conclusion générale.....	88

Références bibliographiques.....	91
Annexes.....	118

Résumés

Article

Article

LISTE D'ABREVIATIONS

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

ADNr : Acide DésoxyriboNucléique ribosomique

AFLP: Amplified Fragment Length Polymorphism

ANOVA: Analysis of Variance

ARN r: Acide ribonucléique ribosomal

BBCH : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamtand ChemischeIndustrie

BLAST: The Basic Local Alignment Search Tool

CABI: Centre for Agricultural Bioscience International

CAP: Plateau Anatolien Central

CIMMYT: International Maize and Wheat Improvement Centre

CNCC : Centre National de Contrôle et Certifications des Semences et des plants

Cre: Resistance gene to Cereal root eelworm

Dd H₂O: Double distilled water

ENSA: Ecole Nationale Supérieure Agronomique

FAO: Food and Agricultural Organisation

GBS: Genotyping By Sequencing

Gross: le Grossissement du loupe binoculaire

ITS1: Internal transcribed spacer 1

ITS2: Internal transcribed spacer 2

Kg:Kilogramme

L₁ : Stade larvaire 1

L₂ (J₂) :Stade larvaire 2

L₃: Stade larvaire 3

MADR: ministère de l'Agriculture et du Développement rural

MK: Numéro d'accession

Mt: Millions de tonnes

NCBI: The National Center for Biotechnology Information

NKC: Nématodes à kystes des céréales

OCDE: Organisation de coopération et de développement économiques)

P : Parcelle

PCR: Polymerase Chain Reaction

PMG: Poids de 1000 grains

qPCR: Real-time PCR

qx : quintaux

RFLP: Restriction Fragment Length Polymorphism)

SAU : Surface agricole utilisable

Tab: Tableau

USDA: United States Department of Agriculture

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les stades phénologiques des céréales.....	7
Tableau 2: Récapitulatif de l'enquête sur les régions étudiées.....	27
Tableau 3: Densité de population (PD), Fréquence d'occurrence (FO) et Valeur prééminente (PV) des régions prospectées en détaille.....	37
Tableau 4: Analyse de la variance des densités de population des nématodes <i>Heterodera sp.</i> Entre les régions.....	42
Tableau 5: Analyse de la variance des densités de population des nématodes <i>Heterodera sp.</i> Entre les étages bioclimatiques.....	44
Tableau 6 : Test Fisher (LSD), Analyse des différences entre les Etages bioclimatique en fonction du nombre de kystes/100 cm ³ de sol, avec un intervalle de confiance à 95%.....	44
Tableau 7: Test Fisher (LSD), Analyse des différences entre les Etages bioclimatique en fonction du nombre de larves /100 cm ³ de sol, avec un intervalle de confiance à 95%.....	45
Tableau 8 : Résultat d'identifications de quelques populations des nématodes du genre <i>Heterodera</i> dans quelques régions infestées, avec leurs numéros d'accession.....	58
Tableau 9: Dates de semis et de récoltes des deux années de l'essai.....	72
Tableau 10: Paramètres de croissance et de rendement des variétés testées.....	77
Tableau 11: Densité de population finale (Pf) et facteur de reproduction (Fr) d' <i>H.avenae</i> sur quatre variétés cultivées de blé dur.	80
Tableau 12: Réaction de différentes variétés de céréales étudiées vis-à-vis d'une population d' <i>Heterodera avenae</i>	81

LISTE DES FIGURES

Figure1. Répartition des Productions, consommations, Exportations et Importation mondiale des céréales.....	5
Figure 2. Distribution des trois espèces importantes des Heterodera.....	15
Figure 3. Cycle de vie des nématodes a kystes des céréales.....	19
Figure 4. Schéma présentant la synchronisation du cycle biologique annuel des populations d' <i>H. avenae</i> avec les stades phénologiques des céréales.....	22
Figure 5. Dégâts des nématodes à kyste des céréales sur le blé.....	24
Figure 6. Les régions prospectées selon leurs étages bioclimatiques.....	29
Figure 7. Etapes de l'analyse nématologique.....	34
Figure 8. Répartition géographique des nématodes à kyste des céréales dans les régions prospectées.....	36
Figure 9. Fréquence d'occurrence (%) des régions prospectées.....	39
Figure 10. Fréquences d'occurrences des groupes prospectés.....	39
Figure 11. Classification hiérarchique des régions prospectées basée sur le niveau d'infestation par les nématodes à kystes des céréales <i>Heterodera spp</i>	43
Figure 12. La répartition des régions explorées.....	51
Figure 13. Etape de l'identification moléculaire.....	53
Figure 14. Répartition des espèces d' <i>Heterodera spp</i> . Sur les régions prospectées.....	59
Figure 15. Arbre phylogénétique des populations d' <i>Heterodera spp</i> ; population d'origine nord d Algérie.....	60

Figure 16. Dispositif expérimentale de l'essai.....	67
Figure 17. Reproduction des nématodes sur les variétés testées.....	70
Figure 18. Rendement de blé en absence et en présence d'Heterodera , perte de rendement en 1 ^{ère} année.....	79
Figure 19. Rendement de blé en absence et en présence d'Heterodera, perte de rendement en 2 ^{ème} année.....	79
Figure 20. Perte de rendement des variétés testées causée par <i>H.avenae</i>	80

LISTE DES PHOTOS

Photo 1. Les régions subhumides (Google Map.....	30
Photo 2. Les régions semi aride (Google Map).....	30
Photo 3. Les régions arides (Google Map).....	31
Photo 4. Micro-homogénéisateur.....	52
Photo 5. Tubes Eppendorf utilisés dans l'essai.....	53
Photo 6. Thermocycleur.....	54
Photo 7. Bromure d'éthidium.....	55
Photo 8. Electrophorèse.....	56
Photos 9. Ecran de lecture des résultats.....	57
Photo 10. Population d' <i>H. avenae</i> sous loupe binoculaire.....	67
Photo 11. Germination des grains	67
Photo 12. Vue générale de l'essai (1 ^{ère} année)	68
Photo 13. Vue générale de l'essai (2 ^{ème} année)	68
Photo 14. Mélange de sol.....	69

Photo 15. Inoculation de sol.....	69
Photo 16. Application de la fertilisation des plantes.....	71
Photo 17. Maladies signalées sur le blé durant l'essai	72
Photo 18. Balance de précision.....	74
Photo 19. Compteur de grain.....	74
Photo 20. Observations des dégâts des rongeurs sur les épis des différentes variétés.....	75
Photo 21. Mensurations des paramètres de croissance et de rendement.....	75

Introduction générale

Les céréales font partie intégrante de la nutrition humaine depuis des milliers d'années. Elles ont joué un rôle important dans le développement de la civilisation humaine. Les cultures céréalières représentent plus de 70% de la superficie consacrée aux cultures vivrières (Riley *et al.*, 2009). En 2017, le blé (*Triticum aestivum L.*) est cultivé sur plus de superficies que toute autre culture commerciale avec 218,4 millions d'hectares. Il continue d'être la principale source de céréales alimentaires pour l'homme (FAOSTAT, 2020).

En raison de l'augmentation de la population mondiale, la demande mondiale de blé est estimée à 860 millions de tonnes en 2025 (Marathee et Gomez-MacPherson, 2001). En Algérie, les céréales sont cultivées dans les zones semi-arides sur 3,3 millions d'hectares soit 40 % de la surface agricole utile (Anonyme, 2011). En 2017, la production céréalière totale a produit 3,5 millions de tonnes, soit 17% de moins que la moyenne quinquennale précédente (2012-2016) et 5% au-dessus de 2016 (FAOSTAT, 2020). Malheureusement, ce chiffre reste encore insuffisant pour répondre à la demande de la population croissante en Algérie. La production céréalière est souvent confrontée à diverses contraintes biotiques et abiotiques. Outre les aléas climatiques et la nature calcaire du sol, la mauvaise conduite des cultures liées au manque de mécanisation dans la préparation du sol, le manque de fertilisants et l'absence de désherbage, les facteurs biotiques font partie de la composante de diminution de rendements (Mokabli., 2002).

Parmi les agents biotiques qui limitent la production des céréales, les nématodes à kystes du genre *Heterodera* NKC provoquent des pertes considérables à ce type de culture.

Néanmoins, ils sont souvent négligés, car ils sont microscopiques, « Les kystes se propagent facilement aux zones non infestées, et transportés par l'équipement, les animaux, les chaussures, les racines, les tubercules et par le vent (dans les particules de sol) et l'eau (Smiley et Nicol, 2009) ». De plus, leurs interactions (NKC) avec les hôtes entraînent généralement des symptômes aériens non spécifiques aux agents pathogènes tels que des feuilles jaunes, un rabougrissement et des plages de mauvaise croissance.

INTRODUCTION GENERALE

Les nématodes associés aux céréales sont nombreux mais les nématodes à kystes du genre *Heterodera* constituent l'un des plus importants groupes de nématodes dans le monde (Rivoal et Cook, 1993). Douze espèces du genre *Heterodera* constituant le "groupe *Heterodera* " affectent les racines des céréales et des graminées (Poacées) (Yan et Smiley, 2009). *H. avenae*, *H. filipjevi* et *H. latipons* sont les trois principales espèces économiquement importantes (Rivoal et Cook, 1993; McDonald et Nicol 2005; Yan et Smiley, 2009). D'autres espèces de ce groupe ont été trouvées sur les céréales, mais leurs dégâts semblent être négligeables.

Cependant, l'identification de ces espèces n'est pas toujours facile car nous savons qu'il existe une diversité considérable au sein du complexe NKC en ce qui concerne les caractéristiques morphologiques, moléculaires et pathologiques (Rivoal *et al.*, 2003). De plus, il n'est pas rare de trouver les deux ou trois espèces de NKC ensemble dans le même champ (Öztürk *et al.*, 1998; Abidou *et al.*, 2005a; Hassan, 2008; Imren *et al.*, 2012; Yavuzaslanoglu *et al.*, 2012; Dababat *et al.*, 2014).

L'identification précise des espèces de nématodes dominantes et la connaissance de leur densité de population sont essentielles pour concevoir des mesures de contrôle efficaces. Comme cela est courant pour d'autres espèces de nématodes, les NKC sont traditionnellement identifiés sur la base de leur morphologie et de leur morphométrie. Malheureusement, cela prend du temps et n'est guère applicable lorsque les mélanges d'espèces doivent être identifiés et quantifiés. Cependant, il a été démontré que les méthodes basées sur l'ADN peuvent être d'excellents outils complétant l'identification traditionnelle (Ferri *et al.*, 2009). La PCR et la qPCR spécifiques aux espèces surmontent ces difficultés et pourraient être utilisées comme outil de diagnostic permettant un débit élevé.

De nombreuses stratégies ont été développées pour contrôler le NKC comprenant la rotation des cultures avec des non-céréales, l'utilisation d'agents de lutte chimiques ou biologiques, le développement de variétés de blé résistantes et des pratiques agricoles telles que la quarantaine, l'assainissement des champs, la jachère nue, le contrôle des adventices, les engrais inorganiques (Smiley et Nicol, 2009; Dababat *et al.*, 2011; Dawabah *et al.*, 2015).

En Algérie, des études réalisées sur les nématodes à kystes des céréales ont révélé leur présence dans plusieurs zones céréalières. Cependant, les travaux de recherche

INTRODUCTION GENERALE

relatifs à ce parasite se sont limités à sa mise en évidence dans les grandes zones céréalières et aucune étude n'est entreprise sur les pertes de production et par conséquent sur son impact économique sur les rendements en céréales (Rivoal et Nicol, 2009 ; Mokabli *et al.*, 2001).

Compte tenu de leur importance bioécologique et agro-économique, nous nous sommes intéressés à élargir des investigations à d'autres régions du pays, leur diversités, leur évolutions et leurs reproductions sur différentes variétés de blé, afin de proposer une stratégie de lutte adéquate.

Dans la première partie, nous avons effectué une enquête sur la présence de ces parasites dans plusieurs parcelles céréalières du pays, afin de compléter la cartographie de leur distribution géographique. La seconde concerne l'identification moléculaire des populations de nématodes du genre *Heterodera* et l'évaluation des relations phylogénétiques entre les populations sur la base de la variation des séquences de l'ITS. La dernière partie est consacrée à suivre l'évolution de ce parasite sur quatre variétés de blé dur afin de déterminer le comportement de ces variétés vis-à-vis de ces parasites tout en s'appuyant sur l'étude des paramètres de croissances et de rendement : Longueur des tiges et des épis ; nombre des grains/ épis, poids de mille grains, rendement et la perte de rendement.

Ce genre de travaux pourrait ouvrir d'importantes perspectives de recherche sur ces parasites susceptibles de cerner et voir même d'apporter des solutions au développement de la céréaliculture dans notre pays. Comme il constitue un complément d'informations aux résultats déjà disponibles.

PREMIER CHAPITRE : Synthèse bibliographique

I.1. Données sur la céréaliculture

I.1.1. Biogéographie, importance et historique des céréales

I.1.1.1. Dans le monde

Les céréales font partie intégrante de la nutrition humaine depuis des milliers d'années. Elles ont joué un rôle important dans l'établissement de la civilisation humaine. Les cultures céréalières représentent plus de 70% de la superficie consacrée aux cultures vivrières (Riley *et al.*, 2009). En 2017, le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) était cultivé sur plus de superficie que toute autre culture commerciale avec 218,4 millions d'hectares et continue d'être la principale source de céréales alimentaires pour les humains (FAOSTAT, 2020). En raison de l'augmentation de la population mondiale, la demande mondiale de blé est estimée à 860 millions de tonnes par an en 2025 (Marathee et Gomez-MacPherson, 2001).

Les céréales demeurent l'aliment de base d'une très grande partie de la population mondiale. Le blé, le maïs et le riz sont les trois principales céréales cultivées dans le monde. Ce sont des composantes essentielles des économies locales des pays développés et en développement. Ils ont servi de base aux aliments de base, aux boissons et aux aliments pour animaux pendant des milliers d'années (Breiman et Graur, 1995; Gustafson *et al.*, 2009).

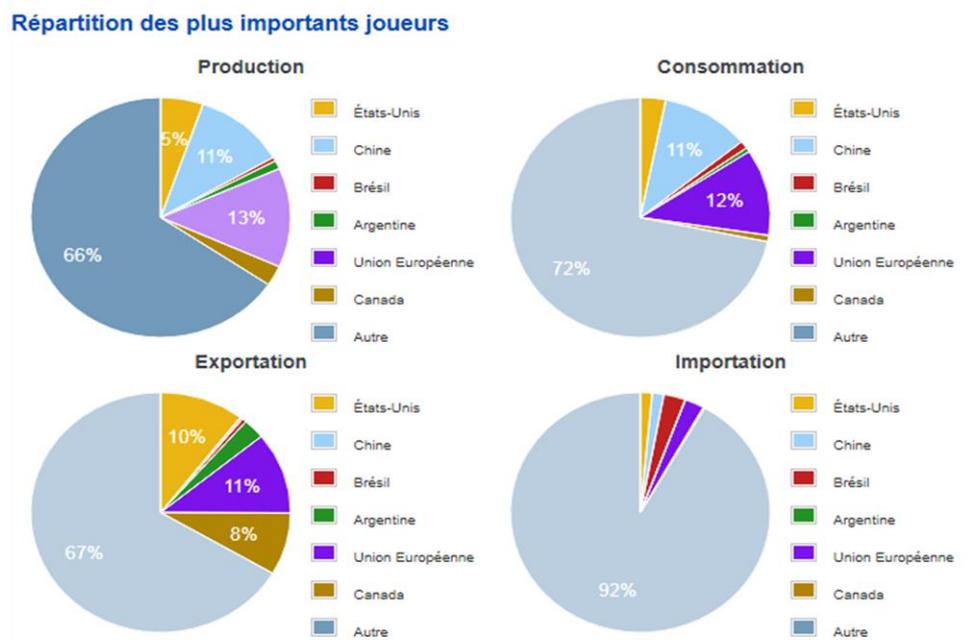


Figure1. Répartition de production, consommation, exportation et importation mondiale des céréales (USDA, 2018).

Les pays les plus gros producteurs de blé sont la Chine, les États-Unis, l'Inde, la Russie et le Canada. Quantitativement, les États-Unis et le Canada sont les plus grands exportateurs de céréales (FAO, 2018). La production mondiale de petits grains a augmenté de façon linéaire de 1960 à 2005, puis a commencé à décliner (Alexandratos et Bruinsma, 2012). La poursuite de la baisse de la production devrait se poursuivre jusqu'en 2050 (OCDE-FAO, 2016), tandis que la demande mondiale de ces céréales devrait augmenter de 1% par an (Alexandratos et Bruinsma, 2012). En 2018, La production mondiale de blé a atteint 758 millions de tonnes selon la (FAO, 2018).

Le blé dur (*Triticum turgidum* var. *durum*) est l'espèce la plus cultivée dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord (Bonjean et al., 2016). Il occupe dans le monde 5 % du total des terres réservées aux blés, avec une production de 38 millions tonnes métrique métrique en 2014 (Ranieri, 2015).

I.1.1.2. En Algérie

En 2018, la production céréalière était estimée à 4,12 millions de tonnes pour une superficie de 3 385 560 ha. Selon les services statistiques de la direction des services agricoles algériens, elle représente l'équivalent de 7,5% de la production agricole globale du pays (MADR, 2019).

La céréaliculture est limitée particulièrement dans les régions semi-arides (Boulal et al., 2007). L'Algérie a réalisé une récolte record de 3,9 Mt sur la campagne 2018-19, soit une

hausse de 61% de la production, dont 3,15 Mt de blé dur. Le pas vers une autosuffisance en blé dur est presque franchi, mais il reste à développer la production de blé tendre qui continue de peser sur les importations algériennes (MADR, 2019).

I.1.2. Biologie des céréales

Le cycle de développement d'une céréale à paille comprend trois grandes périodes.

- ✓ La période végétative, de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale (début de la montaison) ;
- ✓ La période reproductrice, du tallage herbacé à la fécondation ;
- ✓ La période de maturation, de la fécondation à la maturité complète du grain.

A chacune de ces périodes correspondent des exigences particulières de la plante vis-à-vis des facteurs et conditions du milieu. Il est donc important de pouvoir les repérer pour raisonner le choix des techniques culturales. Durant son cycle, la plante passe par un certain nombre de stades précis, appelés stades de développement ; différentes échelles de repérage de ces stades existent. Ainsi, dans le cas du blé, Jonard-Vincent propose une échelle fondée sur l'état de différenciation de l'apex du brin-mâitre. Mais le repérage de ces stades est difficilement réalisable au champ. Une autre échelle, due à Feekes et utilisée par la FAO, repose sur la description de la morphologie du brin-mâitre, en même temps que l'échelle de Zadoks, couramment utilisée sur le plan international. Les stades y sont aisément repérables, visuellement, sans dissection de la plante. Ils reposent, en partie, sur l'extériorisation de phénomènes de croissance, ce qui peut expliquer l'absence de coïncidence ou de relation étroite entre l'aspect extérieur de la plante et la réalisation d'une modification interne que note Joard. (Voir tableau annexe).

I.1.2.1. Stades BBCH de maturité des végétaux

C'est une échelle destinée à identifier les stades de développement phénologiques d'une plante. Pour identifier ces derniers, le code BBCH emploie un système de code universel décimal subdivisé en stades de croissance principaux et secondaires. Il dérive du code mis au point pour les céréales par le phytopathologiste Jan C. Zadoks en 1974. (Officiellement, l'abréviation BBCH dérive de l'expression allemande « Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie »). « Tab.1 »

Tableau 1: Les stades phénologiques des céréales selon l'échelle de (Zadok *et al.*, 1974)

	Germination		Gonflement
00	Semence sèche		40
01	Début de l'imbibition d'eau		41 la gaine de la feuille étendard prend de l'expansion
03	Imbibition complète		45 Gonflement évident de la gaine
05	Emergence de la radicule de la semence		47 la gaine de la feuille étendard s'ouvre
07	Emergence de la coléoptile de la semence		49 les premières barbes sont visibles
09	Feuille au sommet de la coléoptile		
	Croissance de la plante		Epiaison (Emergence de l'inflorescence)
10	Première feuille émergée		50 Premier épillet de l'épi est visible
11	Première feuille déroulée		53 ¼ de l'épi est émergés
12	2 Feuilles déroulées		55 ½ de l'épi est émergés
13	3 Feuilles déroulées		57 ¾ de l'épi est émergés
14	4 Feuilles déroulées		59 Emergence complète de l'épi
15	5 Feuilles déroulées		
16	6 Feuilles déroulées		Pollinisation (Anthèse)
17	7 Feuilles déroulées		60 Début de la pollinisation
18	8 Feuilles déroulées		65 Pollinisation à moitié complétée
19	9 Feuilles ou plus déroulées		69 Pollinisation complète
	Tallage		Développement laiteux
20	Tige principale seulement		70
21	Tige principale et 1 talle		71 Grain liquide
22	Tige principale et 2 talles		73 Début du stade laiteux
23	Tige principale et 3 talles		75 Milieu du stade laiteux
24	Tige principale et 4 talles		77 Stade laiteux tardif
25	Tige principale et 5 talles		
26	Tige principale et 6 talles		Développement pâteux
27	Tige principale et 7 talles		80
28	Tige principale et 8 talles		83 Début du stage pâteux
29	Tige principale et 9 talles ou plus		85 Stade pâteux tendre
	Elongation des tiges		87 Stade pâteux dur
			Maturation
30	Tige en pseudo érection		90
31	1ers nœuds perceptibles		91 Grain dur (difficile à séparer avec l'ongle)
32	2 ^{ème} nœud perceptible		92 Grain dur
33	3 ^{ème} nœud perceptible		93 Le grain se détache facilement
34	4 ^{ème} nœud perceptible		94 Trop mature, la paille est morte et s'affaisse
35	5 ^{ème} nœud perceptible		95 La semence est dormante
36	6 ^{ème} nœud perceptible		96 50% de la semence viable germe
37	Feuille étendard à peine visible		98 Dormance secondaire
39	Ligule/col de la feuille étendard à peine visible		99 Perte de la dormance secondaire

I.1.3. Ravageurs des céréales en Algérie

En Algérie, le rendement est limité principalement par la sécheresse dans les régions arides et semi-arides (Mir *et al.*, 2012), comme la zone méditerranéenne, est caractérisée par des précipitations irrégulières (Habash *et al.*, 2009), le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle, deux majoritaires contraintes influençant la culture de blé dur en Algérie (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Outre l'insuffisance et l'irrégularité de la pluie. Les faibles rendements des céréales s'expliquent par l'influence des mauvaises herbes. Selon Belaid, 1990 :

- Les monocotylédones les plus importantes en Algérie sont :
 - La folle avoine (*Avena sterilis*), elle s'enracine, talle et forme des tiges mieux que le blé. Elle peut recouvrir ce dernier et l'étouffer, ce qui provoque une concurrence à tous les stades de développement de la culture. Cette adventice est limitée par la courbe d'altitude 700 m.
 - Le brome (*Bromus rigidum*), présente un cycle court. Il est limité par la zone d'altitude, supérieure à 700 m avec une pluviosité inférieure à 400 mm (Oufroukh et Hamadi, 1993).
 - Le Phalaris (*Phalaris brachystachys* et *Phalaris paradoxa*)
 - le ray grass (*Lolium multiflorum*).
- Les dicotylédones les plus fréquentes en Algérie :
 - La moutarde des champs (*Sinapis arvensis*), la ravenelle, les chardons, les scolymus, les marguerites, le coquelicot (*Papaver rhoeas*), le souci des champs (*Calendula arvensis*) et le Medicago (*Medicago hispida*).

Le type de sol, l'itinéraire technique, les variétés cultivées sont autant de facteurs abiotiques qui contribuent au faible rendement (Haddadi, 2015).

De plus, les maladies et les ravageurs constituent la contrainte biotique majeure pour la céréaliculture. Selon Bendis, 1994, les principales maladies rencontrées en Algérie sont d'origine cryptogamique comme les rouilles (Jaune et brune), les fusarioses, les septorioses, les pourritures racinaires, l'oïdium et la carie qui touchent notamment le blé et la jaunisse nanisant virale sur l'orge.

I.1.3.1. Les maladies des céréales**I.1.3.2. La rouille noire *Puccinia graminis***

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

I.1.3.3. La carie *Tilletia caries*

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

I.1.3.4. Le charbon**I.1.3.4.1. Charbon nu *Ustilago tritici* sur blé**

Ustilago nuda sur orge

Les épis recouverts d'une masse purulente noire et à leur maturité seuls les rachis souvent déformés persistent. Les enveloppes florales sont détruites (Dubois et Flodrops, 1987).

I.1.3.5. Septorioses *Phaeosphaeria nodorum*

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

I.1.3.6. Le charbon couvert *Ustilago hordei* sur l'orge

Ustilago avenae sur l'avoine

L'épi atteint est gris-verdâtre, ébouriffé contient des masses sporifères à la place du grain. Les épis malades restent fréquemment bloqués dans la graine, pendant l'épiaison les grains sont remplacés par des amas noirâtres de spores (Bovey, 1979).

I.1.3.7. Fusarioses *Fusarium roseum*

Les plantes attaquées présentent une coloration violacée à noire au dessus du nœud, avec ultérieurement un noircissement du nœud et un brunissement des tissus attaqués.

I.1.3.2. Insectes des céréales

I.1.3.2.1. La punaise des céréales *Aelia germari*

Elle cause des dommages sur les tiges et sur les feuilles, les piqures des punaises déterminent de petites lésions qui se présentent comme des points sombres entourés d'une zone décolorées (Bovey ,1979).

I.1.3.2.2. Le ver blanc *Géotrogus deserticola*

C'est un coléoptère dont la larve vermiforme ronge les racines des céréales laissant apparaître des plages vides visibles dans un champs de céréales (Milat-bissad *et al.*, 2012).

I.1.3.2.3. Les oiseaux

Des études ont montré que parmi les espèces d'oiseaux phytophages, le moineau domestique *Passer domesticus*, le moineau espagnol *Passer espaniolensis* et le moineau hybride *Passer domesticus x Passer espaniolensis* consomment les graminées (poacées et causent des pertes économiques très importantes sur les cultures céréalières (Doumandji et Domandji –Mitiche ,1994 ; Doumandji *et al.*, 2010).

I.1.3.2.4. Les rongeurs

En Algérie, les rongeurs et plus particulièrement *Meriones shawi* (Duvernoy ,1842) peuvent provoquer des pertes allant de 10-50% des récoltes céréalières, soit l'équivalent de 4 qs d'ha (Adamou D, 2010)

Parmi les prédateurs des céréales, les nématodes (*Heterodera*, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*) inféodées aux céréales et méconnus par les agriculteurs peuvent également causer des pertes non négligeables. (Mokabli, 2002).

I.2. Données sur les nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera*

I.2.1. Généralités sur *Heterodera Spp*

Le genre *Heterodera*, est le genre le plus important de la famille des *Heteroderidae* (*Nematoda*), les nématodes de ce genre sont des parasites obligatoires. Les différentes espèces attaquent les différentes cultures, causant souvent des pertes économiquement importantes.

Les nématodes à kystes des céréales constituent le groupe de parasites le plus étudié chez les céréales, notamment le blé et l'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).

I.2.2. Historique

Le genre *Heterodera* est considéré comme l'un des plus anciens genres de nématodes phytoparasitaires découverts après les deux genres précédemment nommés *Anguina* (Scopoli, 1777) et *Tylenchus* (Bastian, 1865). En 1859, Schacht a signalé les premiers nématodes à kystes sur les racines de la betterave à sucre. Plus tard, Schmidt (1871) a érigé le genre *Heterodera* et décrit ces nématodes comme *H. schachtii*. Plus tard, des nématodes à kyste ont été détectés sur d'autres cultures. On pensait qu'ils appartenaient à *H. schachtii*. En 1874, Kühn a signalé des nématodes à kystes parasitant les céréales en Allemagne. Plus tard, Liebscher (1892) a signalé une espèce du genre *Heterodera* affectant les pois mais différente de *H. schachtii* mais elle n'affectait pas l'avoine, hôte reconnu de *H. schachtii* à cette époque; il s'appelait *H. goettingiana*. La spécificité d'hôte du nématode à kyste étant reconnue. Plus d'espèces pourraient être identifiées. Le nématode à kyste de la pomme de terre, *H. rostochiensis*, a été décrit à partir de pommes de terre (Wollenweber, 1923) et le nématode à kyste de l'avoine, *H. avenae*, à partir de céréales (Wollenweber, 1924). Plus tard, de nombreux autres nématodes à kystes ont été détectés sur les céréales. Ces nématodes à kystes des céréales (NKC) forment un complexe de plusieurs espèces étroitement apparentées, qui sont réparties dans le monde entier sur les graminées (Rivoal et Cook, 1993; Nicol, 2002; Nicol *et al.*, 2004; Nicol et Rivoal, 2008). Parmi les espèces NKC, *H. avenae* a été la première à être signalée (Kühn, 1874; Wollenweber, 1924), suivie par les *H.*

latipons méditerranéens (Franklin, 1969), les *H. hordecalis* d'Europe du Nord (Andersson, 1974), *H. filipjevi* d'Europe de l'est (Madzhidov, 1981, Wouts *et al.*, 1995). Jusqu'à présent, 11 espèces du groupe *Heterodera* ont été décrites. Cependant, *H. avenae*, *H. latipons* et *H. filipjevi* sont considérées comme les espèces les plus importantes sur le plan économique pour les céréales dans le monde (Rivoal et Cook, 1993; Nicol et Rivoal, 2008).

I.2.3. Position systématique (Siddiqi, 2000)

Phylum Nematoda (Rudolphi, 1808)

Classe Secernentea (von Linstow, 1905)

Ordre Tylenchida (Thornei, 1949)

Super-famille Tylenchoidea (Orley, 1888)

Famille des Heteroderidae (Filipjev et Schuurmans Stekhoven, 1941)

Sous-famille Heteroderinae (Filipjev et Schuurmans Stekhoven, 1941)

Genre Heterodera (Schmidt, 1871).

I.2.4. Répartition de quelques espèces du genre *Heterodera*

I.2.4.1. *Heterodera avenae*

Heterodera avenae (nom commun: nématode à kyste des céréales ou de l'avoine est l'espèce de nématodes à kyste des céréales la plus répandue. Après avoir été signalée pour la première fois en Allemagne, elle a ensuite été signalée dans la plupart des pays européens: Italie (Mezetti, 1953), Portugal (Macara, 1963), Espagne (Tobar, 1963), Grèce (Hirschmann *et al.*, 1966), ancienne Yougoslavie (Grujicic, 1966), France (Sosa, 1966; Rivoal, 1977), Belgique (Coomans, 1989), Royaume-Uni (Gair *et al.*, 1969), et de pays non européens tels que la Tunisie (Delanoue, 1953), l'Inde (Vasudeva, 1958), Pérou (Krusberg et Hirschmann, 1958), Canada (Kort, 1972), Nouvelle-Zélande (Grandison, 1975), Australie (Davidson, 1930). Pakistan (Maqbool, 1988), Japon, Afrique du Sud, Syrie, Iran, Égypte, Maroc et Libye (Sikora, 1988), Chine (Chen *et al.*, 1989), Algérie (Mokabli *et al.*, 2002), Turquie (Rumpfenhorst *et al.*, 1996) et l'Arabie saoudite (Youssif, 1987). Aux États-Unis, *H. avenae* a été signalé pour la première fois en 1974 dans l'État de Washington et dans l'ouest de l'Oregon (Jensen *et al.*, 1975). Il a ensuite été signalé dans sept États occidentaux: Idaho, Montana, Californie, Colorado, Oregon, Washington et Utah (Hafez et Golden, 1984; 1985; Hafez *et al.*, 1992; Smiley *et al.*, 1994). *Heterodera avenae* a été décrite comme *H. australis*

en Australie (Subbotin *et al.*, 2002), tandis que *H. avenae* en Chine a récemment été décrite comme *H. sturhani* (Subbotin, 2015).

En Algérie, *H. avenae* a été signalé pour la première fois par Scotto La Massese (1961). Quelques années plus tard, Lamberti *et al.*, 1975 nota sa présence sur l'orge à Birtouta, Kherba et Sidi Bel-Abbes. Il a été identifié en 1993 par Farhaoui à Djendel, Housseinia et par Aziz à Mitidja, En 1994, les enquêtes menées dans quelques régions de l'ouest Algérien (Mascara, Saida, Sidi Bel Abbes..) ont révélé la présence de ce nématode (Kaci *et al.*, 1998) ainsi qu'à Mascara où il a été mis en évidence par Kaci (1994) dans plusieurs parcelles céréalières. Labdelli en 1995 a signalé la présence de ce parasite dans la région de Tiaret, et Meziani en 1996 à Sétif (Bennoui, 1996). Mokabli (2002) a mis en évidence ce nématode dans plusieurs champs de céréales dans le centre Algérien. Smaha *et al.*, (2018) ont identifié *H. avenae*, dans les régions d'Alger, Guelma, Ain Defla, Tebessa, Constatine, Bouira et Mila. Righi *et al.*, (2019), ont trouvé que 93% des localités prospectées de Relizane sont infestées par *H.aveane*. Smaha *et al.*, (2019), ont signalé une dominance d' *H. avenae* dans 23% des parcelles explorées.

I.2.4.2. *Heterodera latipons*

Dans les années 1960, un autre nématode à kyste a été détecté dans la région méditerranéenne (Palestine et Libye) sur les racines des plants de blé rabougris. Il a été décrit comme une nouvelle espèce et nommé *H. latipons* en fonction des caractéristiques morphologiques de la population Palestine (Kort, 1960; Franklin, 1969). Les *Heterodera latipons* (nématode à kyste des céréales méditerranéen) ont une large distribution et sont essentiellement distribués dans la région méditerranéenne, à savoir ; l'Italie et la Libye (Kort, 1972), la Grèce (Hirschmann *et al.*, 1966), Chypre (Phillis, 1988), l'Espagne (Romero, 1980), le Maroc (Mokrini *et al.*, 2012). Au Moyen-Orient il a été trouvé en Syrie (Sikora et Oostendorp, 1986), en Jordanie (Yousef et Jacob, 1994), au Liban (Greco *et al.*, 2002) et en Turquie (Rumpfenhorst *et al.*, 1996). Il a également été détecté dans les climats continentaux plus ou moins tempérés de plusieurs républiques de l'ex-URSS (Mulvey et Golden, 1983; Subbotin *et al.*, 1996), en Iran (Talatchian *et al.*, 1976; Tanha Maafi *et al.*, 2007), Le Japon (Momota, 1979) et l'Europe, y compris la Bulgarie (Stoyanov, 1982), la République tchèque (Sabova *et al.*, 1988) et le Royaume-Uni (Anon, 2005), et le Canada (Sewell, 1973).

Une récente étude est faite en Algérie par (Righi *et al.*, 2019), a révélé la présence de ce nématode dans quelques régions de l'ouest Algérien.

I.2.4.3. *Heterodera filipjevi*

Filipjev et Schuurmans Stekhoven (1941) ont signalé des populations de NKC dans la région de Sverdlovsk (Russie) et les ont identifiées comme *H. avenae*. Plus tard, des populations similaires ont été trouvées en Ukraine et dans d'autres républiques de l'ex-URSS (Kirjanova, 1969). Dans les années 1970, de fortes infestations ont été signalées dans des champs de blé près de Dashtak, de la région du Kuljab et du Tadjikistan. Plusieurs différences morpho métriques et la présence d'un pont inférieur léger dans le cône vulvaire des kystes ont soutenu la description de ce nématode comme une nouvelle espèce, à savoir. *H. filipjevi* (Madzhidov 1981; Subbotin *et al.*, 2010b).

Heterodera filipjevi est la troisième grande espèce NKC (le nématode à kyste du seigle). Auparavant en Suède, les populations de ce nématode étaient nommées souche Gotland de *H. avenae* (Andersson, 1973; Cook et Noel, 2002). Plus tard, *H. filipjevi* a été trouvée en Iran (Sturhan et Rumpenhorst, 1996; Tanha Maafi *et al.*, 2003) où il s'agit de l'espèce de NKC la plus dominante et la plus répandue (Damadzahed et Ansaripour, 2001; Tanha Maafi *et al.*, 2007) . Elle a également été signalée en Pologne, en Espagne et en Suède (Stelter, 1984), au Bélarus et en Bulgarie (Bossis et Rivoal, 1996), dans l'ex-URSS (Balakhnina, 1989), en Turquie (Rumpenhorst *et al.*, 1996), en Inde (Bishnoi et Bajaj , 2002), la Norvège (Holgado *et al.*, 2004a), l'Italie (Madani *et al.*, 2004), Allemagne (Grosse et Kohlmüller, 2004), Royaume-Uni (Mitchinson, 2009), Syrie (Abidou *et al.*, 2005a), Chine, Inde, Kazakhstan (Subbotin *et al.*, 2010b) et aux États-Unis (Smiley *et al.*, 2008 ; Smiley, 2009a) .

En Algérie, *H filipjevi* est détecté pour la première fois en Algérie par Smaha *et al.*, (2018). Righi *et al.*, (2019) ont détecté l'infestation de 2% des parcelles prospectés par ce nématode. En outre, Smaha *et al.*, (2019) les ont identifié dans 2.4% des localités prospectées de la région de Sidi Bel Abbas .

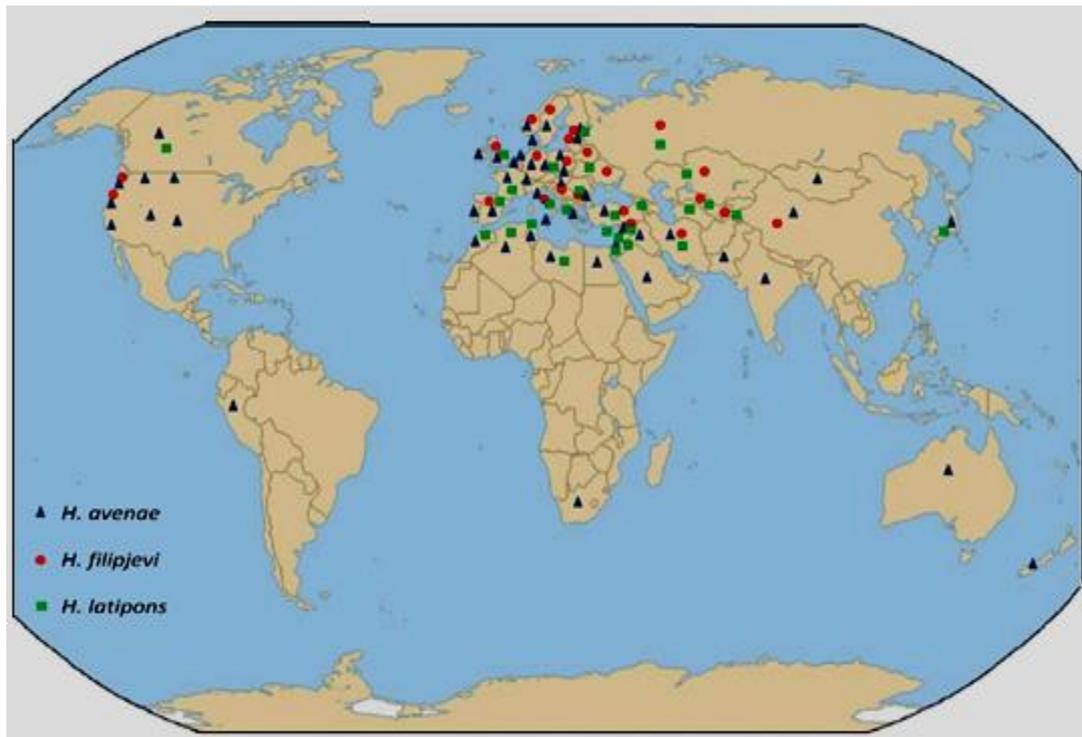


Figure 2. Distribution des trois espèces importantes de *Heterodera* (Toumi, 2017).

I.2.4.4. *Heterodera carotae*

Il peut causer de graves dommages aux cultures de carottes et les carottes sauvages. *H. carotae* est généralement distribué en Europe où les carottes sont cultivées (Jones 1950 ; CABI 2015). Au Royaume-Uni, outre sa présence en Angleterre (Jones, 1950 a, b) il a été enregistré en Irlande du Nord (Anon, 1971) et d'Écosse (Osborne, 1971). Aux Pays-Bas, *H. carotae* était associée à la maladie de la carotte, mais non considérée comme un nématode à problème majeur (Oostenbrink, 1955). De graves dommages sont causés aux cultures de carottes par *H. carotae* ont été signalé en Bretagne et en Normandie, France (Oudinet *et al.*, 1962), où 60 pour cent des champs de carottes étaient infestés (Oudinet, 1968). En Italie, trois des quatre principales zones de carottes sont fortement infestées par *H. carotae*. Jusqu'à présent, le nématode se développe dans les régions de Latium (Ambrogioni, 1969), Pouilles (Lamberti, 1971), Vénétie (Tacconi, 1976). Récemment, elle été trouvée dans le Trentin-Haut-Adige (Greco information non publié). En Suisse, de fortes infestations de *H. carotae* ont été enregistrées en 1973 (Vallotton, 1980) et depuis lors, le nématode a été associé avec des cultures de carottes rabougries dans la zone entre Martigny et Saillon. De sévères infestations de nématodes ont été également signalées dans la République fédérale d'Allemagne (Sturhan, 1960) et la République démocratique d'Allemagne (Decker, 1968,

cité dans Stelter, 1973). Elle est considérée comme un nématode phytoparasite exotique au Canada (Q.Yi, 2017). Il n'a jamais été identifié auparavant en Algérie.

I.2.4.5. *Heterodera cruciferae*

(Tylenchida: Heteroderidae), le nématode à kyste du chou, a été signalé en Europe, aux États-Unis d'Amérique (Californie), en Australie-Méridionale, dans l'Est Azarbaijan et Iran, en particulier dans les zones de culture du chou (Stone et Rowe, 1976; Whitehead, 1998; Sturhan et Liskova, 2004; Jabbari et Niknam, 2008).

Le nématode infecte uniquement les crucifères et persiste dans le sol même en l'absence d'une culture hôte; ou deux à trois générations peuvent être achevées en un an sur un hôte en pleine croissance. Pour les infestations graves, de longues rotations des cultures de plus de 6 ans sont nécessaires. Ce nématode provoque un rabougrissement, une chlorose et des couleurs rougeâtres sur les feuilles (Thorne, 1961). Les plantes infestées peuvent retarder la croissance en soumettant les plantes à un stress, bien que les rendements des cultures soient rarement affectés. Les premiers symptômes de l'infection à *H. cruciferae* comprend une apparence petite et sous-alimentée dans la plante hôte. Quand l'infection progresse, les feuilles peuvent flétrir ou s'enrouler, surtout par temps chaud. Dans le sol, la branche des racines envahies avec effusion, tandis que les racines pivotantes restent petites. Certaines plantes peuvent mourir prématurément. Les survivants produisent de petites têtes lâches avec un système racinaire décoloré. L'invasion des racines infectées par les champignons est un problème secondaire commun. Des parcelles circulaires de plantes affectées peuvent apparaître sur le terrain. La meilleure caractéristique du diagnostic est l'apparence des corps blanc nacré, bronzé ou rougeâtre des femelles qui parsèment la surface des racines. Plus des trois quarts des zones de culture du chou (78%) dans la province de Samsun, au milieu de la mer Noire Région célèbre pour la production de chou en Turquie, est infestée par *H. cruciferae* (Mennan et Handoo, 2006; Mennan *et al.*, 2009).

I.2.4.6. *Heterodera hordecalis n.sp*

Nématode à kystes de l'orge et de seigle, ces kystes ressemblent à ceux des *H. latipons* mais sont généralement de couleur plus claire et la paroi du kyste est plus transparente. Le cône vulvaire est généralement plus pointu et le pont est en moyenne plus étroit que dans les *H. latipons*. La longueur de la fente vulvaire est de 17 à 25 μm , contre 6 à 9 μm dans les *H. latipons*

En Algérie, *H. hordecalis* a été identifiée pour la première fois dans les régions de Sétif, Batna, Tiaret et Tlemcen (Smaha *et al.*, 2018). Une récente enquête faite par Smaha *et al.*, (2019) a révélé la présence de *H. hordecalis* dans 7.2 % des parcelles prospectées.

I.2.5. Les dégâts causés par les nématode à kyste du genre *Heterodera*

Les nématodes à kystes des céréales peuvent entraîner une réduction considérable du rendement, en particulier dans les climats tempérés et semi-arides (Rivoal et Cook, 1993). Les pertes de rendement causées par les NKC peuvent atteindre 90 % dans les champs sévèrement infestés (Rivoal et Cook, 1993; Riley *et al.*, 2009). Des pertes de rendement dues à *H. avenae* sur le blé sont enregistrées de 40 à 92 % en Arabie saoudite (Ibrahimi *et al.*, 1999), de 10 % en Chine (Peng *et al.*, 2009), de 40-50 % au Maroc (Rammah,1994) et de 23 à 50 % en Australie (Meagher, 1972).

Il a été calculé que *H. avenae* est responsable des pertes de rendement annuelles de 72 millions de dollars australiens en Australie (Brown, 1981). Plusieurs études ont montré l'importance économique de *H. latipons* et *H. filipjevi* (Nicol *et al.*, 2006; Hajihassani *et al.*, 2010). Nicol *et coll.* (2006) a montré que l'infestation par *H. filipjevi* peut être très destructrice à *Triticum spp.* Hajihassani *et al.* (2010), ont réalisé une étude sur les effets de *H. filipjevi* sur les paramètres de croissance et de rendement de *T. aestivum cv.* Sardari (blé tendre). Les auteurs ont conclu qu'une densité de population de 20 œufs ou juvéniles de deuxième stade (J₂) par gramme de sol à grains réduits le rendement jusqu'à 55 %, poids sec des racines jusqu'à 70 %, pousse aérienne poids sec jusqu'à 48%, hauteur des pointes jusqu'à 36 % et plante hauteur jusqu'à 32 %. En plus de la perte de rendement du blé, Philis (1988) a rapporté jusqu'à 50% de perte de rendement de l'orge dans les champs infestés par *H. latipons* à Chypre. En Turquie, *H. filipjevi* a été trouvée dans toutes les zones de culture de blé dans la région orientale d'Anatolie, Plateau Anatolien Central (CAP) et transition (Sahin *et al.*, 2009, Toktay *et al.*, 2015) avec une estimation de la perte de rendement jusqu'à 50% en plusieurs hivers pluviaux (Nicol *et al.*, 2006). La véritable incidence sur les rendements de céréales en système intensif reste mal connue (Mokabli, 2002). L'estimation des dégâts en fonction de l'espèce est pratiquement difficile lorsque *H. avenae* est associée à d'autres espèces (Rivoal, 1973; William et Beane, 1982).

I.2.6. Identification des espèces *Heterodera*

Dans le groupe *H. avenae*, comme dans chaque groupe d'*Heterodera*, les différences morphologiques et morpho-métriques distinguent les espèces les unes des autres. Les structures du sommet du cône du kyste, y compris fenestra, bullae et le sous pont (underbridge) sont utilisées pour séparer les espèces. Cependant, le nombre croissant d'espèces dans ce groupe rend l'identification morphologique plus difficile et prend beaucoup de temps (Subbotin *et al.*, 2003). L'identification moléculaire peut confirmer l'identification traditionnelle, en particulier pour les espèces morphologiquement proches. Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour la séparation des espèces et des populations du groupe *H. avenae*, y compris la réaction en chaîne par Polymérase PCR (Polymerase Chain Reaction) et la technique basée sur la longueur des fragments aléatoires RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) de l'ADN ribosomal, ont permis la différenciation taxonomique entre plusieurs entités du complexe de nématodes à kyste de céréales (Subbotin *et al.*, 2000). Ces techniques constituent aujourd'hui un outil fiable pour l'identification rapide et précise des espèces et des sous-espèces de nématodes à kyste (Bekal *et al.*, 1997; Subbotin *et al.*, 1999, 2000 et 2003; Madani *et al.*, 2004; Abidou *et al.*, 2005a et Smiley *et al.*, 2008).

I.2.7. Biologie

D'après Taylor, (1968), le cycle biologique n'est pas le même chez tous les nématodes; il diffère selon les groupes ou les espèces. Chez les nématodes à kyste des céréales, le cycle de développement le plus étudié est celui d'*Heterodera avenae*. Cependant Mor *et al.*, (1992) affirment qu'il est similaire à celui d'*Heterodera latipons*

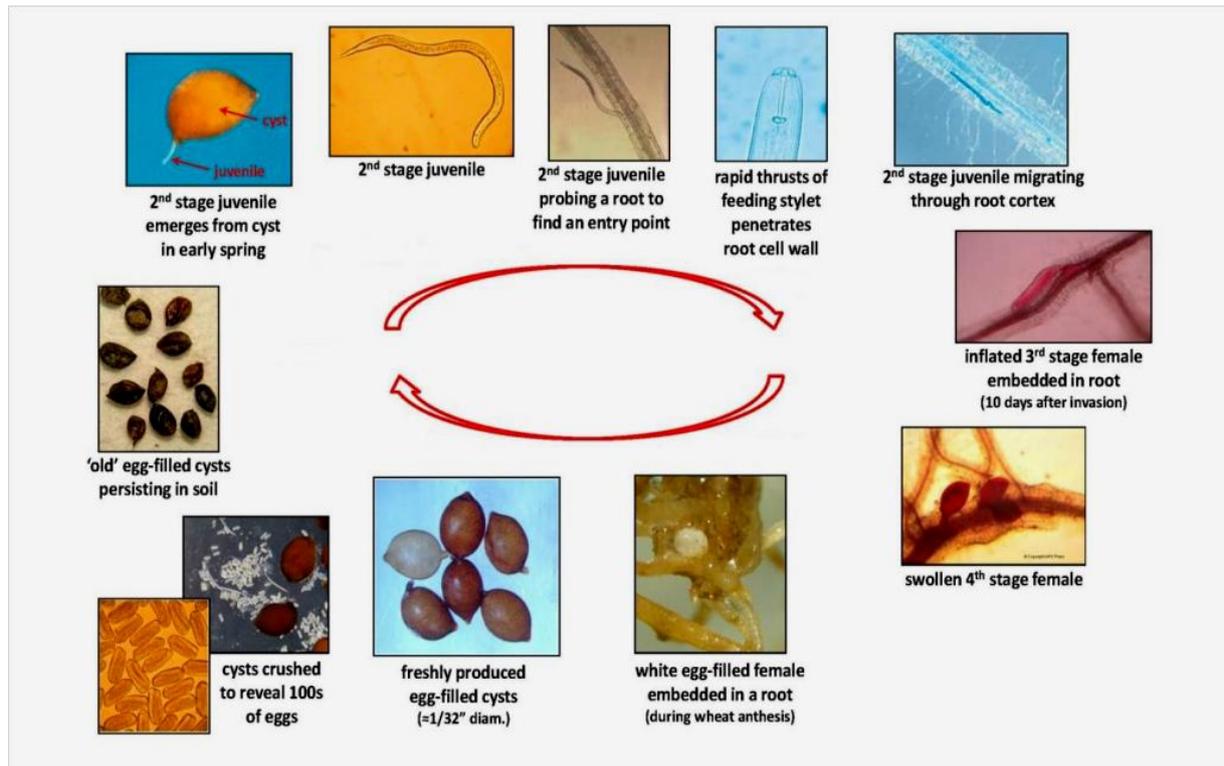


Figure 3. Cycle de vie des nématodes à kystes des céréales (Smiley, 2016).

Heterodera avenae est une espèce monovoltine, avec cinq stades larvaires qui sont séparés par quatre mues. Lorsque les conditions d'humidité et de température sont favorables, La première mue s'effectue à l'intérieur de l'œuf dont l'éclosion par la fente vulvaire du kyste donne directement des « L₂ ». Une fois ces dernières libérées dans le sol, elles attaquent les racinelles de la plante hôte, pénètrent dans les tissus de la racine et se fixent parallèlement au voisinage du cylindre central (Rivoal et Cook, 1993). C'est ainsi que les larves explorent leurs surfaces pour localiser le site d'attaque. 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 elles se nourrissent. (Rivoal et Cook, 1993). Les « L₂ » se différencient soit en femelles blanches, fixées par le cou et dont le corps émerge à la surface de la racine, soit en mâles 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, à la mort, 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).

Un certain nombre d'articles ont traité du processus d'éclosion des trois principales espèces de NKC, en utilisant des populations d'origines différentes (Banyer et Fisher, 1971; Meagher, 1977; Rivoal, 1986; Nitao *et al.*, 1999; Ismail *et al.*, 2000; Mokabli *et al.*, 2001b; Scholz et Sikora, 2004; Al-Abed *et al.*, 2009; Sahin *et al.*, 2010). Selon leur origine, chaque espèce peut éclore sur une large gamme de températures.

Les *Heterodera latipons* éclosent à 10 ° C en Syrie (Scholz et Sikora, 2004) et en Jordanie (Al-Abed *et al.*, 2009), avec un maximum d'éclosion ne dépassant pas 33% et un pic d'éclosion à la fin de janvier et début février. Le pourcentage d'éclosion obtenu pour *H. latipons* était relativement faible par rapport à *H. avenae* et *H. filipjevi* (Scholz et Sikora, 2004). En Australie-Occidentale, *H. avenae* éclos de manière optimale à une température comprise entre 10 et 15 ° C, avec un pic d'éclosion de 80% dans les conditions de terrain fin mai (Banyer et Fisher, 1971; Meagher, 1977; Stanton et Eyres, 1994).

Sahin *et al.* (2010) ont trouvé l'éclosion optimale pour les populations turques de *H. filipjevi* entre 10 et 15 ° C; dans des conditions in vitro et sur le terrain, 94% des J₂ ont éclos à partir des œufs avec deux pics enregistrés début octobre et la période entre fin janvier et début mars. Des résultats similaires ont été rapportés en France pour *H. avenae* (Rivoal, 1986). De plus, une incubation relativement longue (six mois) à 2 ° C a été nécessaire pour améliorer l'éclosion (70-80%) de la population suédoise de *H. avenae* (Ireholm, 1996).

En Algérie, Mokabli *et al.*, (2001) ont maintenu deux populations locales dans une large gamme de températures constantes (3, 7, 15, 20 et 25 ° C). Après 11 mois, les kystes des deux populations ont été transférés pendant 2 mois à une température élevée (25 ° C) ou basse (3 ° C) et sont finalement revenus à la température initiale. Les deux populations ont éclos sur une large gamme de températures constantes (3-25 ° C) mais différaient dans les moments où la juvénile J₂ a émergé des kystes.

L'éclosion de *H. filipjevi* a augmenté de manière significative lorsqu'elle était exposée aux exsudats de la variété de blé sensible «Bezostaya» par rapport aux exsudats de la variété de blé résistante «Sönmez» (Sahin, 2010). De même, les exsudats racinaires des variétés d'orge sensibles «Tadmor» et «Arta» et de la variété d'orge «Rum» ont stimulé l'éclosion de *H. latipons* J₂ (Al-Abed *et al.*, 2009). Cependant, l'éclosion sous l'influence des exsudats des cultivars sensibles n'était pas significativement différente de l'éclosion chez le témoin (eau); l'éclosion dans les exsudats racinaires de la variété «Tadmor» était inférieure à l'éclosion dans l'eau (Scholz, 2001). Néanmoins, après incubation à 5 ° C, l'éclosion de *H. latipons*

exposée aux exsudats racinaires des deux variétés était significativement plus élevée que l'éclosion chez le témoin (eau). Cela suppose que les cultivars jouent un rôle dans la production de signaux qui induisent l'éclosion de *H. latipons*, en particulier à basse température. Une expérience comparant les exsudats racinaires de l'orge à ceux de la betterave sucrière a montré que la mobilité de J₂ était plus grande vers l'orge hôte que celle de la betterave sucrière non hôte, ce qui a démontré la forte spécificité de réponse de *H. latipons* aux céréales.

L'âge des plantes joue un rôle important dans l'éclosion par la production d'exsudats racinaires (Ibrahim *et al.*, 1993). Les exsudats racinaires des «feuilles dépliées au stade de la plante» sont considérés comme les meilleurs exsudats pour l'éclosion de *H. latipons* (Scholz et Sikora, 2004). Les produits chimiques comme le chlorure de zinc (ZnCl₂) augmentent le taux d'éclosion de *H. filipjevi* de 30% de plus que l'eau stérilisée (Sahin, 2010). Un résultat similaire d'augmentation de l'éclosion de *H. zae* a été obtenu après immersion des kystes dans une solution de ZnCl₂ 4 mM; il a stimulé 10 % d'émergence supplémentaire de J₂ par rapport aux témoins de l'eau du robinet pendant 28 jours (Hashmi et Krusberg, 1995). L'ajout d'engrais aux plants de maïs a entraîné une augmentation du nombre de racines de maïs. Par conséquent, plus de sites d'infection de nématodes étaient disponibles, ce qui a entraîné un doublement du nombre de kystes de *H. zae* et 2 à 3 fois plus de J₂ que dans les cultures non fertilisées (Hashmi et Krusberg, 1995).

En Algérie, l'émergence larvaire des *H. avenae*, est hivernale et coïncide avec les stades sensibles (levée) des céréales :

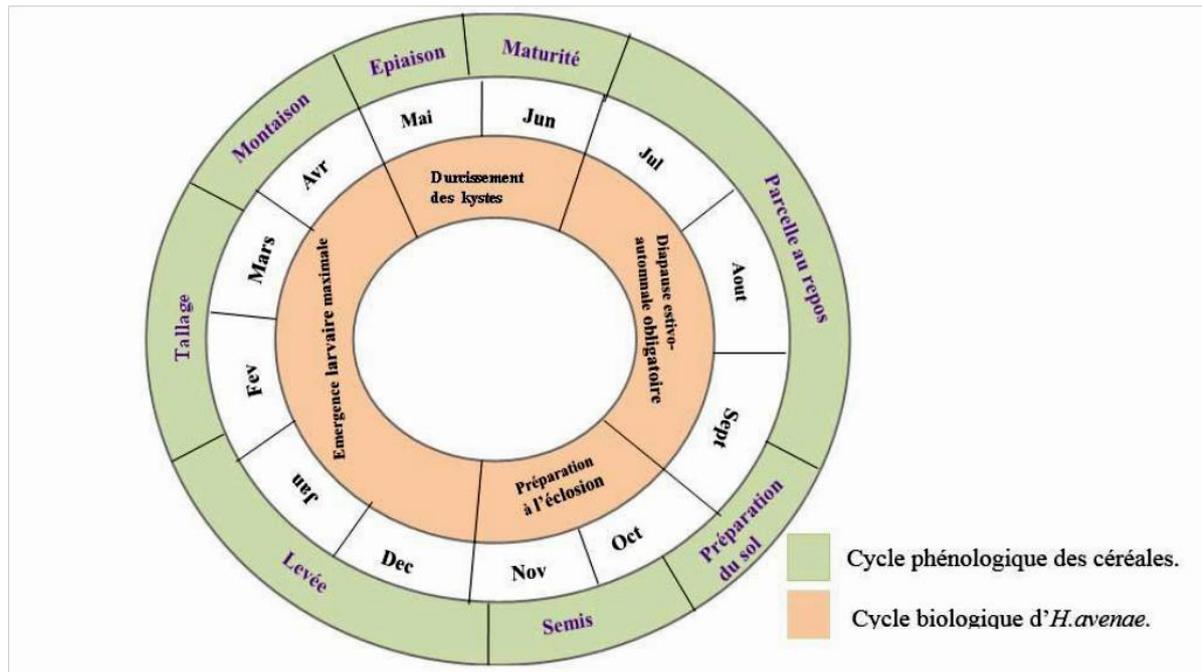


Figure 4. Schéma présentant la synchronisation du cycle biologique annuel des populations d'*H. avenae* avec les stades phénologiques des céréales (Haddadi ,1997).

I. 2.7.1. Biologie de la relation avec la plante hôte

Les interactions qui existent entre le nématode et la plante sont multiples et complexes. Les recherches sont menées, d'une part, sur l'incidence des nématodes sur la croissance et la physiologie des plantes parasitées essentiellement sur la nutrition minérale, en relation avec l'alimentation hydrique, la photosynthèse, la respiration et les biosynthèses qui lui sont liées. D'autre part, sur les mécanismes d'attraction des nématodes par les exsudats racinaires et le comportement de la plante vis-à-vis de ces parasites (Aubert, 1986).

I.2.8. Symptômes

I.2.8.1. En plein champs:

Les symptômes induits par *H. Avenae* se traduisent généralement par de larges plages circulaires à végétation très faible, constituée de plants chétifs (Rivoal et Cook, 1993 et Nicol et Rivoal, 2008). Les plants attaqués présentent un tallage réduit et deviennent mal développé et nains (Rivoal et Cook, 1993) et les épis formés sont ainsi maigres (Mor *et al.*, 1992).

I.2.8.2. Sur les feuilles :

Un rougissement ou un jaunissement des feuilles peut être visible en début d'attaque. Par la suite, les plantes retrouvent une couleur normale (Renčo, 2005). Les symptômes des plants attaqués 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 (Griffin, 1988 ; Rivoal et Cook, 1993).

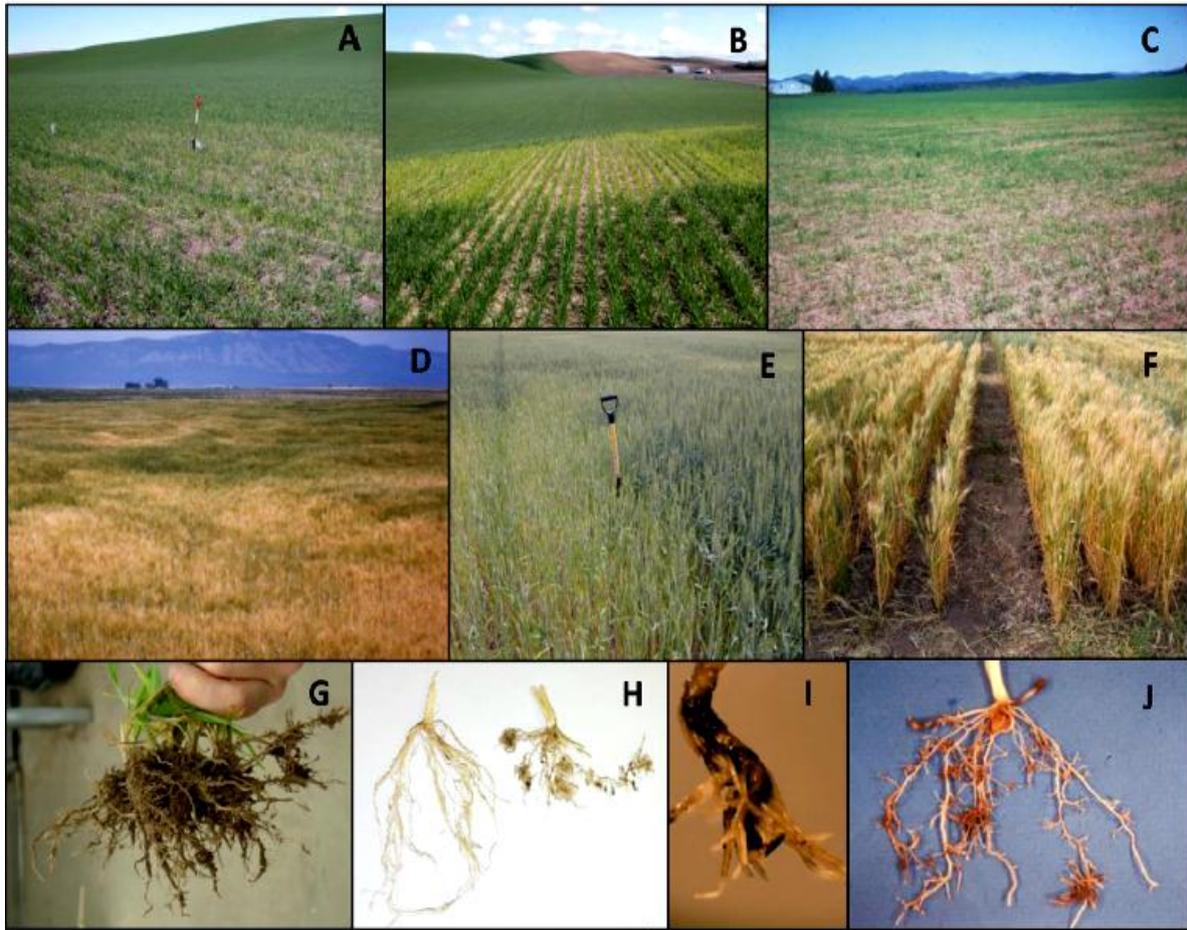
I.2.8.3. Sur les racines :

Les symptômes des racines ne deviennent souvent pas reconnaissables jusqu'à un à trois mois après la plantation, selon les conditions de climat et les comportements de croissance du blé de printemps ou d'hiver (Smiley et Nicol, 2009).

Les racines du blé et de l'orge se ramifient excessivement aux endroits où les femelles *H. avenae* ont établi un syncytium alimentaire. Le résultat est une apparence touffue ou nouée sur la racine.

Les racines envahies ne parviennent souvent pas à pousser profondément dans le sol aux sites où les nématodes ont provoqué une ramification anormale. Les racines des plantes envahies sont moins profondes et moins capables d'absorber l'eau du sol et les nutriments que les racines de plantes saines. Lorsque *H. avenae* envahit l'avoine, les racines deviennent plus courtes et plus grosses en diamètre mais ne développent pas le symptôme noué (Smiley et Yan, 2010).

Les tissus racinaires envahis par les nématodes à kystes des céréales offrent de plus grandes possibilités de dommages supplémentaires par les champignons pourrissants des racines et les bactéries saprophytes, les champignons et autres nématodes. La pourriture et la décoloration causées par ces organismes secondaires ne sont pas des symptômes directs de l'invasion des racines par les nématodes à kystes des céréales (Smiley et Yan, 2010).



(A,B,D-J) sur avoine (C) causé par les *H.aveane* (A-D,F-J) et *H.filipjevi* (E) en Nord-ouest pacific, USA ; tous sans l'application des nematicide sauf F, qui montre une repense de croissance à l'application de nématicide (droite) comparé par un sol non traité.

Figure 5. Dégâts des nématodes à kyste des céréales sur le blé (Smiley, 2016).

I.2.9. Méthodes de lutte

La réduction de perte de rendement causée par les nématodes à kystes des céréales, et le maintien de ses populations en-dessous des seuils de nuisibilités nécessite le contrôle de ces populations par plusieurs techniques de gestion des nématodes (Holgado *et al.*, 2006). Les pratiques culturales basées sur des rotations de les plantes non-hôtes (non céréalières) et les jachères propres peuvent contrôler les NKC (Dababat *et al.*, 2015).

Singh et coll (2009) ont montré que les densités de population de *H. avenae* diminuaient de 70% après la rotation avec des cultures non hôtes comme la carotte (*Daucus carota*), le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) et oignon (*Allium cepa*), ou par la jachère et le labour d'été. Les nematicides peuvent être appliqués, mais ne sont pas préférés par les agriculteurs en raison du coût élevé par unité de surface du blé (Dababat *et al.*, 2015).

Cependant, lorsque la population du nématode dans le sol est élevée et que d'autres approches de gestion sont inadéquates, le contrôle chimique peut amener la population des *H. avenae* en dessous des seuils de dommages (La Hague et Gowen, 1987).

La lutte chimique contre les nématodes est souvent considérée économiquement trop chère et inacceptable pour l'environnement (Viaene *et al.*, 2013). Par ailleurs, le développement des antagonistes microbiens du NKC pourraient être l'une des rares alternatives restantes (Riley *et al.*, 2010). Une gamme de micro-organismes a été étudiée comme agents potentiels de lutte biologique contre les NKC, y compris le *Pochonium chlamydosporium*, *Trichoderma longibrachiatum* et *Purpureocillium lilacinus* (Kerry *et al.*, 1984; Zhang *et al.*, 2014). De même, il a été démontré que certaines bactéries offrent un potentiel en tant qu'agents de lutte biologique. Une bactérie similaire à *Pasteuria spp.* a pu parasiter *H. avenae* et s'est montré capable d'empêcher 38 à 56% des juvéniles provenant de racines envahissantes (Davies *et al.*, 1990 Bansal *et al.* (1999) ont montré qu'*Azotobacter chroococcum* a réduit la formation de kystes de 48%. Cependant, peu d'informations ont été recueillies sur les contrôles des NKC au cours des dernières années.

Une des méthodes les plus économiques, environnementales et prometteuses de gestion des NKC consiste à utiliser des le matériel génétique de blé résistant (Dababat *et al.*, 2015). De nombreuses sources de résistance du matériel génétique de blé ont été rapportées (Smiley et Nicol, 2009). Des sources de résistance autour du monde ont été obtenues auprès de parents de blé sauvage par le biais d'un programme de sélection (Ogbonnaya *et al.*, 2001). Au moins neuf gènes de résistance dominants uniques ont été trouvés, dont beaucoup dérivent de parents sauvages de blé (Dababat *et al.*, 2015). Six gènes Cre (Cre2 à Cr7) proviennent d'*Aegilops spp.* (Jahier *et al.*, 2001); d'autres gènes de résistance étaient dérivés de *T. aestivum* (Cr1 et Cr8) et de seigle (*Secale cereale*) (CreR) (Barloy *et al.*, 1996).

Certaines sources de résistance actuellement utilisées pour contrôler *H. avenae* dans le blé et l'orge en Australie se sont révélés efficace contre *H. latipons* (Moklabi *et al.*, 2002). Le landrace irakien AUS4930 est résistant à la fois à *H. australis* (= Pathotype australien Ha13) et le turc *H. filipjevi* (Pathotype HF1) (Nicol et Rivoal, 2000). Cependant, l'utilisation de la résistance nécessite une bonne connaissance du spectre de virulence des espèces ciblées. Plusieurs études ont montré que les cultivars de blé résistants aux populations de *H.*

avenae dans une région étaient pleinement sensibles aux populations de la même espèce dans d'autres (Bonfil *et al.*, 2004; Smiley et Nicol, 2009).

DEUXIEME CHAPITRE

Etat d'infestation et biogéographie des nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* en Algérie

II .1. Description de la région d'étude

L'enquête a été réalisée en période estivale, après la récolte des céréales en 2017-18 et 2018-19. Le choix de nos sites d'étude a porté sur 54 parcelles productrices des céréales (blé, orge et avoine) répartis sur 14 wilayas du Nord, Centre, Est et d'Ouest (Tab2). Vue l'étendu de la région, les parcelles sont regroupées en 3 groupes selon leur étage bioclimatique en 3 groupes : (Tab2, Fig.7)

Tableau 2 : Récapitulatif de l'enquête sur les régions étudiées

Régions	Cordonnés géographiques	Etage bioclimatique	Parcelles	Précédent culturel	Culture en place
Relizane	35° 44' 00" N, 0° 33' 00" E	Aride	Relizane P1	Céréale	-
		Aride	Relizane P2	Blé	Jachère
Boumerdes	36° 46' 0" N, 3° 28' 0" E	Sub-humide	Boumerdes P1	Céréale	Jachère
		Sub-humide	El Kariya	Cérèale	Jachère
Bordj Bouariridj	36°04' 00" N ; 4°46' 00" E	Aride	EL yachirP1	Avoine	Cérèale
		Aride	El yachirP2	Orge	Cérèale
Ain Defla	36°15' 55"N ; 1°58 '13" E	Semi-aride	Khmis Meliana P1	Céréale	Blé
		Semi-aride	Khmis Meliana P2	Blé	-
		Semi-aride	Bordj Khaled P1	Orge	-
		Semi-aride	Bordj Khaled P2	Blé	Jachère
		Semi-aride	Djendel	Blé	Orge
Bouira	36° 22' 48" N ; 3° 53' 5" E	Semi-aride	Ain Bessem P1	Blé tendre	Orge
		Semi-aride	El Asnem	Blé	Jachère
		Semi-aride	Ain Bessem P2	Céréale	Cérèale
		Semi-aride	Ain Bessem P3	Cérèale	-

DEUXIEME CHAPITRE : Etat d'infestation et biogéographie des nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* en Algérie

Guelma	36° 28' 58" N ; 7° 26' 2" E	Subhumide	Guelma P a	Céréale	Pois chiche
		Subhumide	Guelma P b	Jachère	Blé
		Subhumide	Guelma P c	Céréale	Pois chiche
Oum Bouaghi	35°52' 39" N 7°06' 49" E	Semi-aride	Ain Melila P1	Blé dur	Céréale
		Semi-aride	Ain Beïda P1	-	Orge
		Semi-aride	Ain Melila P2	Orge	Céréale
		Semi-aride	Meskiana	Céréale	/
		Semi-aride	Oum Bouaghi P1	Blé	Jachère
		Semi-aride	Ain Beïda P2	-	Orge
		Semi-aride	Oum Bouaghi P2	Orge	Blé
		Semi-aride	Oum Bouaghi P3	Céréale	Légume
		Semi-aride	Ain Melila P3	-	Céréale
		Semi-aride	Ain Melila P4	Blé	Légume
Souk ahras	36° 17' 15" N ; 7° 57' 15" E	Subhumide	Tifech Pb	Orge	Jachère
		Subhumide	Mdaourouch P1	Avoine	Céréale
		Subhumide	Merahna P1	Jachère	Blé
		Subhumide	Mdaourouch P2	Avoine	Blé
		Subhumide	Mdaourouch P3	-	Orge
		Subhumide	Taoura	Jachère	Blé
		Subhumide	Merahna P2	-	Blé
Batna	33' 0" Nord, 6° 10' 12" Est	Semi-aride	Ain Yaqout	-	Orge
		Semi-aride	Batna	Jachère	Blé
		Semi-aride	Seriana	Céréale	Jachère
		Semi-aride	Bir Touta	-	Pois chiche
Constantine	36° 22' 02" N 6° ; 37' 08" E	Semi-aride	Constantine P A	Orge	-
		Semi-aride	Constantine P B	Blé	-
		Semi-aride	Constantine P C	Blé	Céréale
Sétif	36° 9' 29"N ; 5° 26' 34"E	Semi-aride	Hammem sokhna P1	Avoine	/
		Semi-aride	Hammem sokhna P2	Orge	Jachère
		Semi-aride	Hammem sokhna P3	Céréale	Jachère
Tebessa	35° 24' 19" N, 8° 6' 59" E	Semi-aride	Ouenza	Orge	-
		Semi-aride	Laouinat	Blé	-
		Semi-aride	Zaatra	Avoine	-
Mila	36° 27' 0" N ; 6° 16' 0" E	Semi-aride	Tajenanet P1	Céréale	Pois chiche

DEUXIEME CHAPITRE : Etat d'infestation et biogéographie des nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* en Algérie

		Semi-aride	Tadjenanet P2	-	Blé
		Semi-aride	Tadjenanet P3	Céréale	/
Alger	36°42' 30" N ; 3° 3 34" E	Subhumide	Oued Smar P1	Céréale	Jachère
		Subhumide	Oued Smar P2	Blé dur	Jachère
		Subhumide	Oued Smar P3	Blé	Jachère
- Pas d'informations					

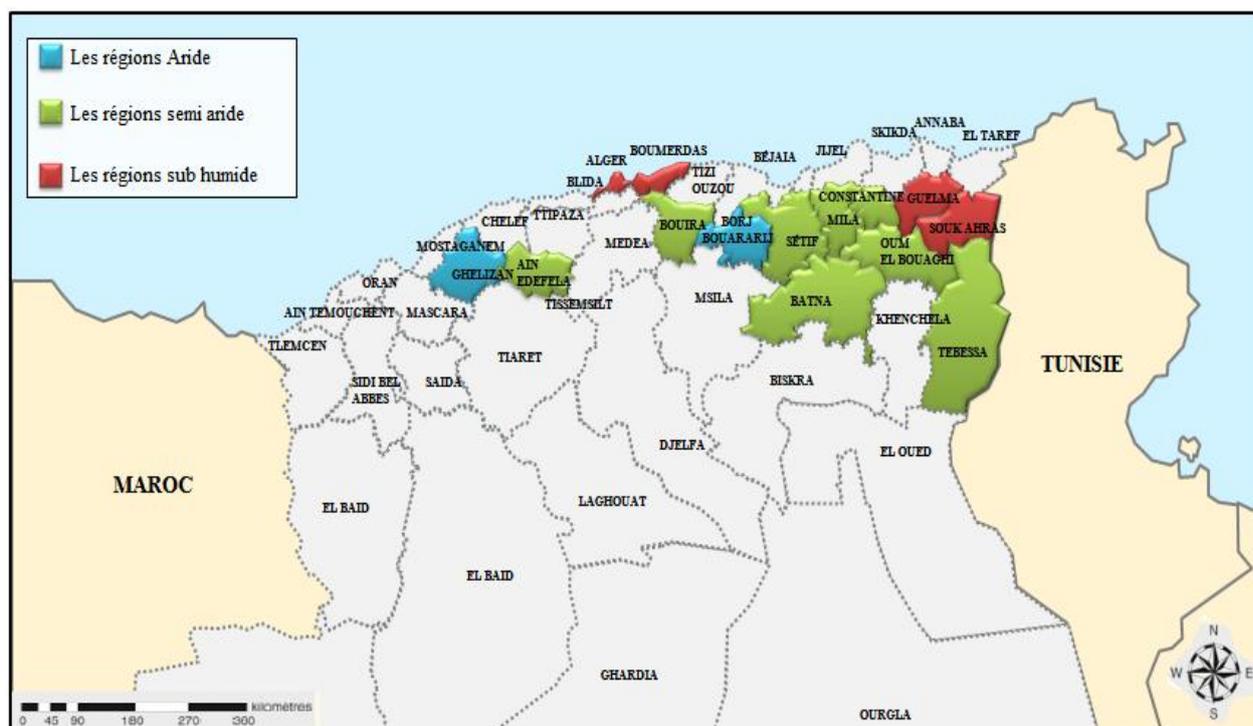


Figure 6. Les régions prospectées selon leurs étages bioclimatiques (Originale).

II .1.1. Subhumide

Il est caractérisé par des hivers pluvieux et doux, des étés chauds, secs et tempérée par des brises de mer ; les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1000 – 400 mm) et du nord au sud (1000 à moins de 130 mm). Dans cette zone, les températures moyennes minimales et maximales respectivement oscillent entre 5 et 15°C en hiver et de 25 à 35°C en été. Les vents humides venant de la mer. Cependant, l'influence du désert se fait sentir jusque sur la cote par l'action du (sirocco).vent sec et chaud. Soufflant du Sud au Nord.

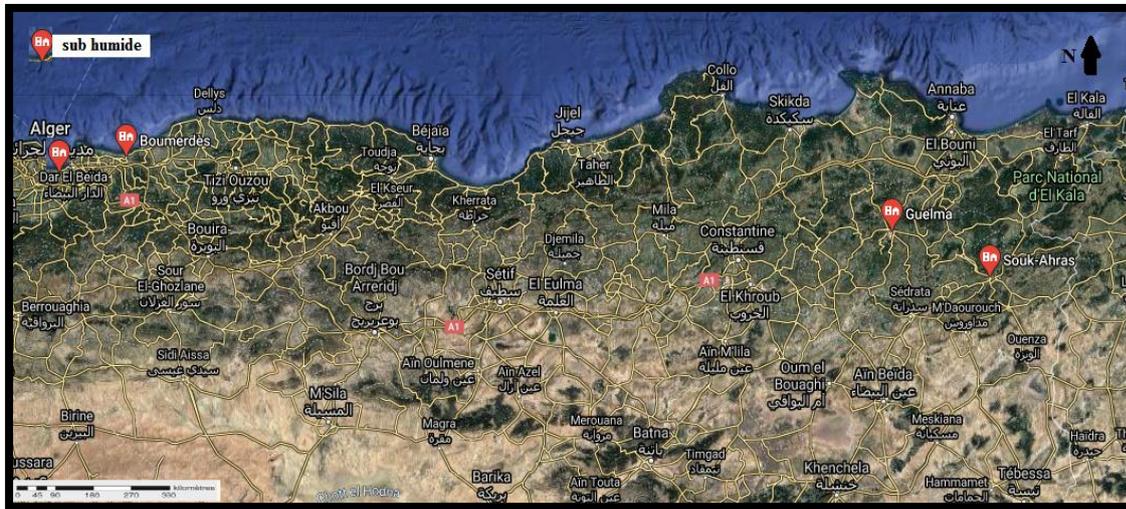


Photo 1. Les régions subhumides (Google Map).

II .1.2. Semi-aride

Les précipitations sont faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an ; les pluies sont rares, la température descend souvent au-dessous de 0°C en hiver. En été elle dépasse 30°C et voir même 40°C (Ben ,2009).



Photo 2. Les régions semi aride (Google Map).

II .1.3.Aride

Les précipitations sont exceptionnelles et très irrégulières provoquant souvent des inondations, elles sont inférieures à 100 mm par an ; le Sahara est une des régions les plus chaudes du monde, les températures de jour atteignent en été 45°C et même 50°C, la température moyenne saisonnière est de 15 à 28°C en hiver et atteint 40 à 45°C en été. Le sirocco est un vent du sud chaud et sec. (Anonyme, 2010).



Photo 3. Les régions arides (Google Map).

II .2.Méthodologie de travail

II .2.1. Analyse nématologique

II .2.1.1.Echantillonnage de sol

Le choix de la parcelle a porté sur la présence des céréales sur place ou comme précédent cultural, pour vérifier en premier lieu la présence ou l'absence du nématode du genre *Heterodera*, qui sert de base pour notre étude. L'échantillonnage est effectué à l'aide d'une binette à une profondeur de 15 à 30 cm (Zone de développement racinaire). Il est réalisé selon les deux diagonales pour couvrir la totalité de la superficie. Un échantillon de sol de 2 kg par parcelle composé de plusieurs échantillons élémentaires, leurs nombres dépendent des parcelles.

Les échantillons prélevés sont mis dans des sacs en papier ou en plastique portant la date et le lieu de prélèvement, le précédent cultural et menés au laboratoire pour faire d'autres analyses.

Au laboratoire, les échantillons sont randomisés puis étalés sur des papiers pour un séchage de 24 à 48 heures. Après le séchage, le sol est pesé, de chaque échantillon de sol de 100 g sont été utilisés pour extraire les stades vermiformes d' *Heterodera spp*. Les kystes sont extraits d'un autre sol de 1000 cm³ (10 sous échantillons de 100 cm³) (Fig.8)

II .2.1.2. Extraction des kystes

L'extraction des kystes d'*Heterodera spp*, est réalisée au laboratoire de nématologie de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), El Harrach, Alger. La méthode utilisée est la méthode classique décrite par Fenwick (1940) sur l'appareil modifié par Oostenbrinck (1960). Le principe est basé sur la densité des kystes par rapport à celle de l'eau (Nakachian et Jacquemont, 1971). Les kystes secs (pleins ou vides) possèdent une densité inférieure à 1. Ils flottent en surface de l'eau, ce qui facilite leur récupération. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de faire sécher le sol avant l'extraction.

Le sol séché est versé dans une passoire de 2 mm de maille surmontant le récipient de Fenwick. Un fort jet d'eau est activé sur le sol qui l'entraîne dans le corps du récipient alors que les débris des grandes tailles sont restés dans la passoire. Les particules légères et les kystes flottent à la surface de l'eau. Ils sont retenus par un tamis de 250 μm . L'apport de l'eau est maintenu jusqu'à l'éclaircissement de l'eau qui déborde du récipient. Le contenu du tamis est récupéré à l'aide de jet d'eau d'une pissette sur papier filtre tapissant un entonnoir porté par un Erlen. Lorsqu'il est bien égoutté, on procède à la récupération des kystes sous loupe binoculaire.

II .2.1.3. Récupération des kystes

Les kystes pleins et vides sont isolés séparément à l'aide d'une épingle sous loupe binoculaire. (Gross *10). On s'est débarrassé des kystes vides après les avoir comptés. Les kystes pleins sont comptés puis déposés dans des tubes d'Eppendorf et stockés sous une température de 4 °C.

II .2.1.4. Extraction des larves à partir du sol

De chaque échantillon, 100 cm^3 de sol ont été utilisés pour extraire les stades vermiformes d' *Heterodera spp.* L'extraction est réalisée après la collecte des échantillons pour éviter leur détérioration dans le temps. Les échantillons de sol de chaque parcelle, sont déposés sur des tamis de 40 μm eux-mêmes placés dans des récipients (grandes boîtes de Pétri) contenant de l'eau de robinet. Les nématodes en se réhydratant deviennent actifs et traversent les mailles des tamis. Nous avons conservé les échantillons en extraction pendant 2 jours en vérifiant que les échantillons restent toujours humides et ne sèchent pas avec l'évaporation. Après avoir versé les suspensions contenant les nématodes dans des béchers gradués, en ajoutant de l'eau jusqu'à 200 μl , nous avons laissé les échantillons reposer une nuit. Les larves descendent vers le fond du bécher, ce qui nous permettra de baisser le niveau de l'eau jusqu'à 100 ml. À l'aide d'une pipette, on homogénéise la solution et on prélève 5 μm pour le comptage des larves à l'aide d'un microscope optique.



Figure 7. Etapes de l'analyse nématologique (Originale).

II .3. Evaluation de l'infestation en fonction des régions

Pour chaque parcelle étudiée, la densité de population (P.D.) de nématodes pour 100 cm³ de sol, la fréquence d'occurrence % (F.O. %) et la valeur de proéminence (P.V.) sont calculés selon (Norton, 1978) comme suit : P.D = nombre moyen de nématodes par 100 cm³ de sol. F.O.% =s (nombre d'échantillons contenant un nématode / nombre total d'échantillons collectés) * 100. P.V = densité de population / fréquence d'occurrence. (Boag, 1993 ; Baklawa , 2013, Mokrini *et al.*,2020).

II .4. Analyse statistique

Les données recueillies sur les densités de populations des nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* dans les parcelles prospectées ont fait l'objet de l'analyse de la variance Anova afin de tester la signification entre les moyennes testées. Toutes les données sont analysées à l'aide du logiciel Statistica (Version 6).

Pour pouvoir connaître l'influence de différents facteurs tels que : le précédent cultural, Climat, l'Origine géographique, sur la distribution d' *Heterodera spp.* dans les régions prospectées, nous avons réalisé une analyse de la variance Anova à un facteur (Région, Précédent Cultural, Etage bioclimatique). Les regroupements en fonction des moyennes sont réalisés à l'aide du test de Fisher (LSD) avec un intervalle de confiance à 95% (p<0.05).

La classification ascendante hiérarchique des variables (CAH) : est utilisée pour identifier les plateaux ou de nombreuses classes sont générées à une distance d'agrégation voisine à l'aide du logiciel Statistica (Version 6).

II .5. Résultats

II .5.1. Evaluation de l'infestation des régions prospectées

L'analyse nématologique des 54 échantillons de sol prélevés à partir de 29 localités, qui appartiennent à 14 wilayas, dont la production agricole est basée sur les céréales (Blé Dur, Blé Tendre et Orge), révèle des infestations variables des parcelles par les nématodes à kystes des céréales *Heterodera spp.* Lesquelles des 13 régions sur 14 sont infestées avec un taux de 92.86 % (Fig.9).

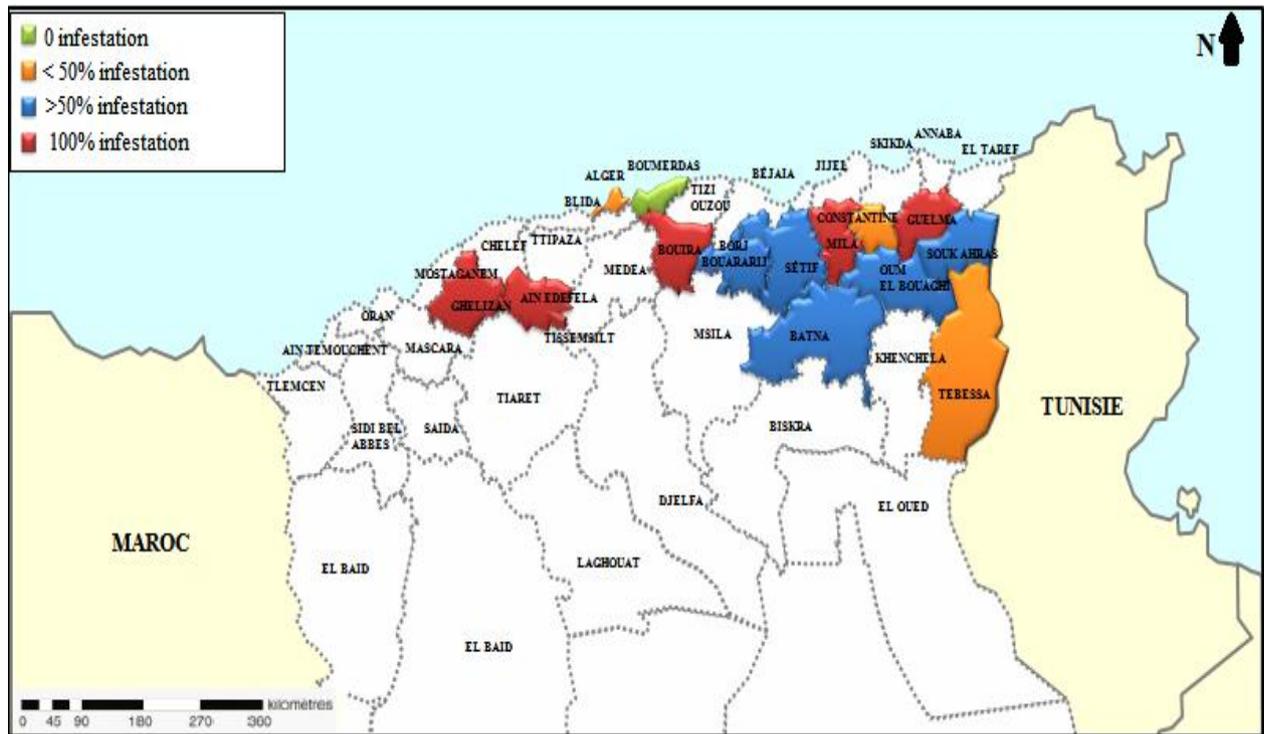


Figure 8. Répartition géographique des nématodes à kyste des céréales dans les régions prospectées (Originale).

Les régions de Relizane, Aïn Defla, Bouira, Guelma et Mila se sont montrées totalement infestées, Cependant, la région de Boumerdes s'est révélée indemne. Moins de 50 % des régions de Tebessa et Alger sont envahies par ces parasites. Les autres régions présentent des infestations entre 50 et 100 %.

DEUXIEME CHAPITRE : Etat d'infestation et biogéographie des nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* en Algérie

Tableau 3: Densité de population (PD), Fréquence d'occurrence (FO) et Valeur proéminente (PV) des régions prospectées en détaille

Régions	N° échantillons prélevés	N° échantillons infestés		Kystes /100 cm ³ .sol	Larves /100cm ³ .sol
Relizane	2	2	PD	4,9	12,25
			FO	100	100
			PV	4,9	12,25
Boumerdes	2	0	PD	0	5
			FO	0	50
			PV	0	3,54
Bord Bou	2	1	PD	12,8	32
			FO	50	50
			PV	9,05	22,63
Ain Defla	5	5	PD	22,9	57,25
			FO	100	100
			PV	22,9	57,25
Bouira	4	4	PD	15	37,5
			FO	100	100
			PV	15	37,5
Guelma	3	3	PD	6,4	16
			FO	100	100
			PV	6,4	16
Oum bouaghi	10	7	PD	28,9	72,25
			FO	70	70
			PV	24,18	60,49
Souk Ahras	7	5	PD	7	17,5
			FO	71,43	71,43
			PV	5,92	27,29
Batna	4	3	PD	5,7	14,25
			FO	75	75
			PV	4,94	12,34
Constantine	3	2	PD	13,8	34,5
			FO	66,67	66,67
			PV	20,47	28,17
Sétif	3	2	PD	5	12,5
			FO	66,67	66,67
			PV	4,08	10,21
Tebessa	3	1	PD	0,8	2
			FO	33,33	33,33
			PV	0,46	1,15
Mila	3	3	PD	6,3	15,75
			FO	100	100
			PV	6,3	15,75
Alger	3	1	PD	1,8	4,5
			FO	33,33	33,33
			PV	1,04	2,6

P.D = nombre moyen de nématodes par 100 cm³ de sol.

F.O.% = (nombre d'échantillons contenant un nématode / nombre total d'échantillons collectés) * 100.

P.V = densité de population / fréquence d'occurrence

A l'échelle parcellaire, la parcelle de Bordj Khaled 2 situé à Ain Defla, s'est avérée la parcelle la plus infestée par les nématodes NKC avec 19.1 kystes et 3.38L₂ /100 cm³ de sol, tandis que la parcelle de Oued Smar P3 (Alger) s'est montrée la moins infestée avec 1.2 kystes / 100 cm³ de sol. Par ailleurs, Huit parcelles de Boumerdes (Boumerdes P1, El Karya), Oum Bouaghi (Ain Melila P4), Souk Ahras (Mdaourouche P2, Taoura), Batna , Sétif (Hammem Sokhna P3) et Tébessa (Laouinat) n'ont enregistré aucun kystes, Quatorze parcelles appartiennent aux différentes régions sont étés dépourvues des L₂.

Le nombre des larves trouvées dans les parcelles est négligeable par rapport aux kystes.

Les parcelles respectives de Al yachir P2, Bordj Khaled P2, Al Asnem, Ain Melila P1, Oum Bouaghi P3, Constantine PA et Constantine PB ont montré des degrés d'infestation supérieure à 10 kystes / 100 cm³ de sol. Dans la plupart des parcelles restantes, les degrés d'infestation varient entre 0 et 9.5 kystes / 100 cm³.

Il ressort du tableau que la forte densité des nématodes est signalée dans la région de Oum Bouaghi avec (28.9 kystes et 72.25 L₂) /100 cm³ de sol, (F.O =70 %). Elle est suivie par la région de Ain Defla (22.9 kystes et 57.25L₂) /100 cm³. La plus faible abondance de nématode est détectée dans la région de Tébessa avec (0.8 kystes et 2 L₂) /100 cm³ avec une fréquence d'occurrence de (F.O =33.33 %). Dans la région de Boumerdes, aucun kyste d'*heterodera spp.* n'a été détecté, par contre, le nombre moyen de larves est 5 L₂/100 cm³ de sol (F.O = 50%).

La densité la plus élevée de nématode est détectée dans le groupe des régions semi-aride avec une densité moyenne de population de (98.4 kystes et 7.08 L₂) /100 cm³ de sol, et une fréquence d'occurrence moyenne de 88.57%.

Les nématodes à kystes des céréales sont trouvés dans le groupe des parcelles aride avec une moyenne de densité de (17.7 kystes et 11.06 L₂) / 100cm³ de sol (75% des parcelles de ce groupe sont infestées). En revanche, la plus faible abondance et incidence de nématode est trouvée dans les échantillons du groupe des parcelles situées dans le subhumide avec (15.2 kystes et 2.5 L₂) /100 cm³ de sol avec une F.O de 73.33%.

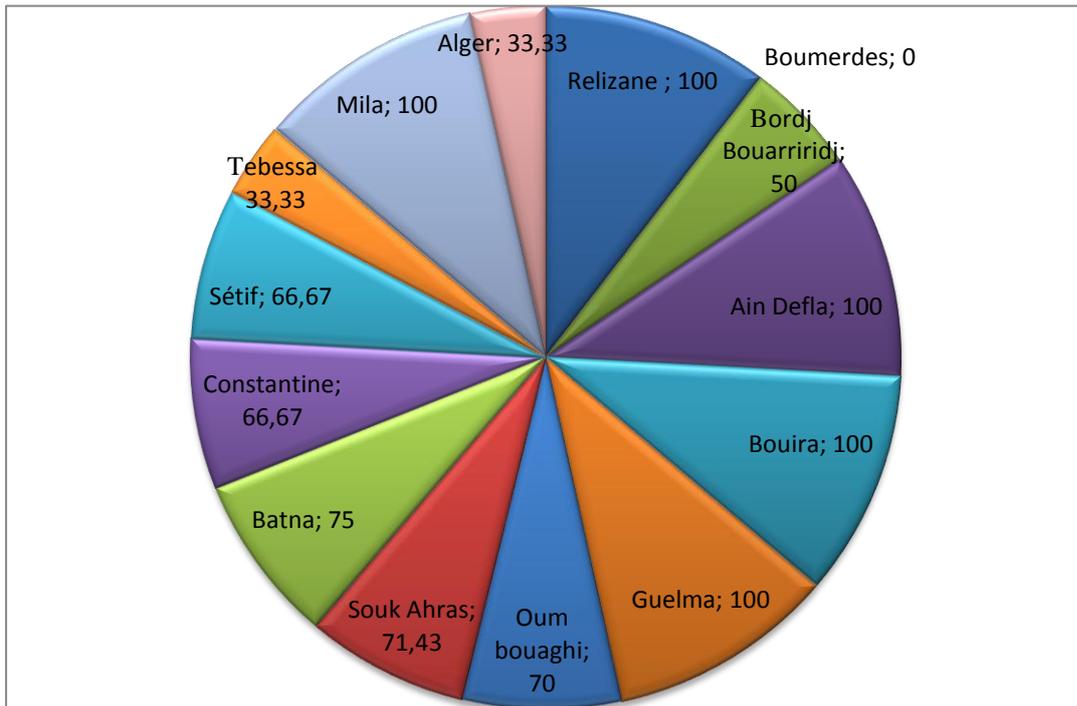


Figure 9. Fréquence d'occurrence (%) des régions prospectées.

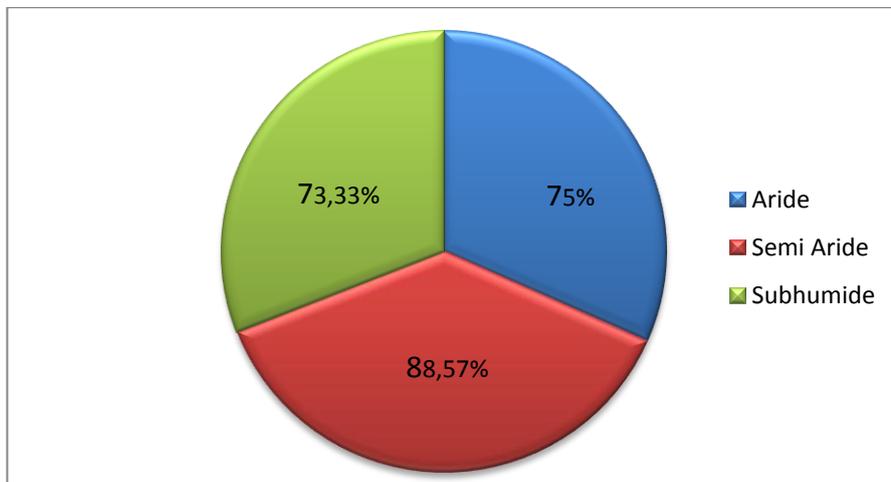


Figure10. Fréquences d'occurrences (%) des groupes prospectés.

Les analyses nématologiques de 13 régions sur un total de 14 régions se sont montrées infestées par les nématodes à kystes *Heterodera spp.* (92.86 %). Ces résultats coïncident avec ceux réalisés par Haddadi (2015) (non publiés) qui a trouvé que 37 parcelles céréalières sur 40 prospectées sont infestées par les nématodes à kyste *Heterodera spp.* des céréales, ce qui représente un taux de 92,5 % des parcelles infestées.

Nos résultats sont comparables aussi à ceux obtenus par Djetti *et al.*, 2018, qui ont montré que 13 parcelles sur 22 parcelles (nord de l'Algérie) productrices de céréales prospectées (54.44 %) sont infestées par *Heterodera spp.* avec des degrés d'infestation variables. Les analyses nématologiques faites par Righi *et al.*, 2019 sur 1787 échantillons de sol, ont révélé que 53% des parcelles prospectées sont infestées (différentes régions de l'ouest Algérien) dont la fréquence de l'infestation variait entre 48 et 51% selon les régions et peut atteindre localement 100%. Des études semblables sont réalisées par Labdelli (2015), ont dévoilé l'infestation de 6 communes prospectées sur 8 de la région de Tiaret par les nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera*.

Des travaux pareils menés dans d'autres pays sur la distribution de ces parasites, En Jordanie, le nématode à kystes des céréales de la méditerranée (*H.latipons*) est largement réparti dans plusieurs zones du nord et du sud de la méditerranée et dans les zones désertiques orientales, avec une incidence variant de 30 à 100% (Al Abd *et al.*, 2004). Toumi *et al.*, 2015 ont mené une étude dans le Nord-est de la Syrie dans des zones de culture de blé et d'orge a révélé que 62% des champs sont infestés par l'espèce *H.avenae*.

Nous avons étudié plusieurs régions déjà prospectées, telle que la région de Relizane. Righi *et al.*, 2019, ont trouvé une infestation faible et moyenne dans 3 groupes sur 28 prospectées. La région de Bouira a été prospectée précédemment par (Haddadi et Mokabli, 2015 ; Hammache *et al.*, 2017 ; Djetti *et al.*, 2018) ont signalé la présence des NKC avec des taux d'infestations variables. Nos résultats sont comparables à ceux de Djetti *et al.*, 2018 dans les régions de Ain Defla, d'où il a signalé la présence des NKC dans tous les champs de monoculture de blé.

La densité de population de nématodes *Heterodera spp.* varie d'une parcelle à une autre. Nous avons noté des taux d'infestation totaux dans les régions de Relizane, Ain Defla, Guelma, Mila et Bouira. Righi *et al.*, 2019, Quelques localités de Timimoun, Zemoura, Mediana, Mazona, Hocine sont infestées à 100%. D'après nos résultats, huit parcelles appartiennent aux Boumerdes (Boumerdes P1, El Karya), Oum Bouaghi (Ain Melila P4), Souk Ahras (Mdaourouche P2, Taoura), Batna (Batna), Sétif (Hammem Sokhna P3) et Tébessa (Laouinat) n'ont enregistré aucun kyste. Nous avons noté au niveau de 14 parcelles de différentes régions l'absence totale de larves juvéniles de nématode du genre *Heterodera*. Ces résultats sont comparables à ceux de Djetti (2019) qui n'a pas détecté des NKC dans neuf provinces à savoir Ain Soltane, Bir Ould Khlelifa, les sites 1 et 2 de Medjana, Tissimsilt, Ammari, Dhaya, Zaouiet Kounta et Timimoun.

Les densités des nématodes NKC variaient au sein et entre les régions, allant de Tébessa avec (0.8 kystes et 2 L₂) /100 cm³ (F.O =33.33 %) Jusqu'à Oum Bouaghi avec 28.9 kystes et 72.25 L₂) /100 cm³ de sol, (F.O =70 %).

Une étude récente sur les NKC a été menée par Djetti *et al.*, 2019 a révélé des taux d'infestation des régions entre $0,6 \pm 0,54$ et $86,6 \pm 19,96$ kystes / 500 g de sol séché et une moyenne de $56,33 \pm 15,18$ et $364,70 \pm 81,93$ juvéniles et œufs embryonnés par kyste. Ils ont signalé l'infestation la plus sévère dans les champs céréaliers de Draa Semar et Djendel avec $86,6 \pm 19,96$ kystes / 500 g de sol et Djendel avec $57,4 \pm 17,55$ kystes / 500 g de sol. Néanmoins, l'infestation la plus faible était dans les champs de Ras Elouad avec $0,6 \pm 0,54$ kystes / 500 g de sol; Sidi Mbarek avec $1,6 \pm 1,67$ kystes / 500 g de sol et $2,4 \pm 1,67$ kystes / 500 g de sol.

En Egypte, le nématode à kyste des céréales a été trouvé dans cinq des sept régions d'El Ismailia, avec une occurrence de 79,4%. La densité de population était de 29 kystes en moyenne, 10J_{2s} /100 cm³ de sol (Baklawa *et al.*, 2015). En Russie (Tcheliabinsk), la densité de population de nématodes la plus élevée a été enregistrée entre 2010 et 2012, avec une densité moyenne de 100 kystes /100 g de sol (Pridannikov *et al.*, 2015).

La densité la plus élevée des nématodes a été observée dans le groupe des régions semi aride avec une densité moyenne de population de (98.4 kystes et 7.08 L₂) /100 cm³ de sol. Cela peut être expliqué par le grand nombre d'échantillons collectés par rapport

aux autres régions, ainsi par les caractéristiques agro climatiques des sites prospectées, l'adaptation du nématode en question et le mode de conduite des cultures.

II .5.2. Analyses statistiques

II .5.2.1. Analyse de la variance

Tableau 4 : Analyse de la variance des densités de population des nématodes *Heterodera* sp. entre les régions.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Nombre de kystes/ 100 cm ³ de sol	9924,43	13	763,418	5655,53	40	141,3882	5,399447	0,000017* **
Nombre de larves /cm ³ de sol	31884,37	13	2452,644	20840,07	40	521,0018	4,707554	0,000073* **

***: Différence très hautement significative (p<0,001)

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives entre les densités de population de nématodes exprimées en nombre de kystes / 100 cm³ de sol et en nombre de larves /cm³ de sol en fonction des régions étudiées. Cela nous a permis de constater que les caractéristiques pédoclimatiques et culturelles des sites prospectées présentent un rôle sur les densités de populations des *Heterodera*. Cette hypothèse reste à discuter.

II .5.2.2. Classification hiérarchique

Le diagramme vertical de l'arbre retraçant l'agrégation successive des régions prospectées, basée sur leur niveau d'infestation par les nématodes *Heterodera* sp. Exprimé par le nombre de larves / 100 cm³ de sol est synthétisé par la figure 12.

Tableau 5 : Analyse de la variance des densités de population des nématodes *Heterodera* sp. Entre les étages bioclimatiques.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Nombre de kystes/ Kystes/100 cm ³ de sol	2318,379	2	1159,19 0	13261,5 8	51	260,0310	4,457891	0,016434 *
Nombre de larves /cm ³ de sol	8377,014	2	4188,50 7	44347,4 3	51	869,5575	4,816826	0,012129 *

*: Différence significative (p<0,05)

L'analyse de la variance montre des différences significatives entre les densités de population de nématodes exprimées en nombre de kystes / 100 cm³ de sol et en nombre de larves /cm³ de sol en fonction des Etages bioclimatique. Cela nous a permet de conclure que le Climat est un facteur important de distribution des nématodes

Tableau 6 : Test Fisher (LSD), Analyse des différences entre les Etages bioclimatique en fonction du nombre de kystes/100 cm³ de sol, avec un intervalle de confiance à 95% :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes	
Semi aride	29,499	4,938	A	
Sub humide	27,870	6,138	A	B
Aride	4,726	9,699		B

Le test Fisher (LSD) fait sortir 3 groupes ; les régions qui appartiennent à l'étage bioclimatique semi aride se trouvent dans le groupe homogène **A**, contrairement à celles de l'Aride, qui se trouvent dans le groupe **B** ; Les régions de l'étage bioclimatique sub humide se trouvent dans le groupe **AB**.

Tableau 7 : Test Fisher (LSD), Analyse des différences entre les Etages bioclimatique en fonction du nombre de larves /100 cm³ de sol, avec un intervalle de confiance à 95% :

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Groupes	
Aride	12,550	0,087	A	
Sub humide	12,402	0,045	A	B
Semi aride	12,324	0,029	B	

Il ressort du tableau7 trois groupes, le groupe homogène **A** contient les régions du groupe aride, le groupe **B** contient les régions de semi aride et les régions du groupe sub humide se trouvent dans le groupe **AB**.

II.6. Discussion

Cette étude est une suite complémentaire à de nombreux travaux antérieurs menés sur la distribution des espèces de nématodes à kystes des céréales en Algérie.

Les degrés d'infestation notés dans la plupart des parcelles prospectées peuvent être qualifiés d'élevés et peuvent avoir une incidence sur les rendements de blé. Les taux d'infestation faibles ou moyens restent des taux importants et inquiétants qui doivent être pris au sérieux, comme signalé dans de nombreux travaux (Ibrahim *et al.*, 1999 ; Rammah, 1994 ; Smiley *et al.*, 1994) qui ont montré que ce nématode peut provoquer des pertes importantes, même avec des densités très faibles (2 larves J₂ / g sol).

Smiley et Yan (2010) rapportent que la baisse des rendements de blé peut se produire lorsque le nombre d'œufs et de larves d'*H. avenae* contenus dans les kystes, plus les larves déjà présentes dans le sol dépasse cinq nématodes par gramme de sol. Plusieurs enquêteurs ont rapporté différents niveaux de seuil de dommage d'*H. avenae* sur blé et orge, généralement 1 à 40 œufs et J₂ / g de sol ont été signalés à partir de différents pays (Dhawan et Nagesh, 1987; Gill et Swarup, 1971; Greco et Brandonisio, 1987; Meagher et Brown, 1974; Stone, 1968; Swarup et Sosa-Moss, 1990). De nombreux facteurs biotiques et abiotiques dans différentes régions peuvent affecter les estimations des seuils de dommage d' *H. avenae* sur blé ou autres céréales. Ces facteurs comprennent: type de sol, précipitations, plante céréalière ou cultivar, pathotype de nématode, nutriments, type ou

emplacement du test, présence d'autres nématodes ou pathogènes, et nématicides utilisés dans les essais (Rivoal et Cook, 1993; Simon, 1980; Williams et Beane, 1982).

L'analyse de variance montre une variation de la distribution globale du nématode en fonction des conditions agro climatiques des sites expérimentaux avec des effets plus marqués en étage semi-aride qu'en étage subhumide et aride. On peut confirmer que le stress hydrique est un des facteurs déterminants de la nuisibilité d'*H. avenae* sur céréales (Rivoal et Cook, 1993; Lili, 1993). Pour se déplacer dans le sol, *H. avenae* a besoin d'un film d'eau (Meagher, 1970 ; Caubel *et al.*, 1980). Lorsqu'il n'existe pas de film d'eau, les nématodes se déshydratent et meurent ou s'enkystent. L'excès induit une réduction de l'oxygénation du sol et une asphyxie du parasite ainsi que des phénomènes secondaires tels que la multiplication de certains microorganismes, libérant dans le sol des substances toxiques pour *H. avenae* (Cayrol, 1975).

Les fluctuations des niveaux d'infestation sont le résultat de l'interaction de nombreux facteurs tels que le climat, le système de rotation, les variétés cultivées, le type de sol et l'emploi de produits chimiques (pesticides, engrais...) qui affectent les populations du complexe *Heterodera spp.* (Labdelli *et al.*, 2017 ; Mokabli, 2002 ; Righi *et al.*, 2014) :

Quand le blé revient 2 fois sur la même parcelle pendant 4 ans dans un système de rotation dominé par les céréales (C-C-J-L-C), il favorise la pullulation des populations d'*Heterodera spp.* (Righi *et al.*, 2019). Ce qui peut justifier les taux d'infestations élevés dans les régions : Oum Bouaghi, Ain Defla, Bouira, Constantine et Bordj Bouarriridj, caractérisées par la monoculture.

Suite à notre recherche, malgré la méconnaissance des nématodes par les agriculteurs, certains respectent la rotation et savent par expérience qu'il faut laisser la terre se reposer après chaque année de céréale pour éviter les problèmes de sol. Cela pourrait expliquer le taux d'infestation faible dans la région du centre par l'absence total des nématodes dans la région de Boumerdes. La pratique de la jachère entre dans le système de rotation, aide à réduire sensiblement les effectifs des populations dans le sol (Brown, 1984 ; Griffin, 1988 ; Bourdon et Rivoal, 2005 et Singh *et al.*, 2009).

Selon Labdelli *et al.*, 2017 ; Righi *et al.* , 2014, Ritter, 1982, Le non respect de la rotation et le maintien des céréales sur des sols infestés pendant plusieurs années consécutives, augmente le potentiel infectieux des sols. En conséquence, les seuils de nuisibilités sont atteints dans une ou deux années seulement.

Les densités faibles des nématodes enregistrées dans les régions de Guelma et Mila, pourraient s'expliquer par la présence de pois chiche comme président cultural. Selon Haddadi (1997), l'introduction de la culture de pois-chiche pendant une année permet une réduction moyenne annuelle de 34.6% des populations d'*Heterodera avenae*.

La pratique de la monoculture peut augmenter les populations de NKC et entraîner de graves dommages et une perte de rendement, comme cela a été signalé en Arabie saoudite (Al-Hazmi *et al.*, 2015) et en Tunisie (Namouchi-Kachouri *et al.*, 2007).

La non utilisation de pratiques agricoles telles que la jachère propre et le désherbage favorise l'installation de plusieurs graminées sauvages dont beaucoup sont des hôtes favorables au développement des populations d'*Heterodera*. Ce cas pourrait expliquer la densité importante des nématodes du genre *Heterodera* dans la région de Souk Ahras. Nous signalons des parcelles prospectées abandonnées et envahies par les mauvaises herbes. La présence des graminées adventices dans quelques parcelles céréalières assurent le maintien des populations du complexe *Heterodera* même dans le cas d'absence des poacées cultivées (Righi *et al.*, 2019). Selon Mokabli (2002), la présence des graminées fourragères et spontanées dans les parcelles conserve en permanence ces nématodes particulièrement dans les zones à céréaliculture extensive et peu mécanisées comme elles contribuent à l'augmentation des niveaux de populations dans le sol.

Les espèces sauvages d'avoine sont très communes dans les mêmes champs d'orge et de blé en raison de la faible utilisation d'herbicides ou / et de l'utilisation d'herbicides non spécifiques. Au cours de l'enquête, nous avons observé de nombreux champs infestés de NKC. En comparaison avec des enquêtes précédentes, l'augmentation de l'incidence des *Heterodera* a illustré leur diffusion rapide. Cette propagation rapide est probablement due aux agriculteurs lors de l'élaboration de mesures de contrôle reposant sur la rotation ou la résistance.

Les variétés affaiblies par des maladies phytopathogènes, une fois semées, elles vont rencontrer des difficultés à faire face à l'agressivité des différents pathotypes d'*Heterodera* déjà existants dans les sols de ces régions. Ainsi l'installation des cultures céréalières sur les sols pauvres ne permet pas aux plantes d'avoir une bonne vigueur, ce qui les expose à de fortes attaques d'*Heterodera* (Righi *et al.*, 2011).

L'utilisation des outils de travaux contaminés, les labours qui sont aussi la cause de nouvelles infestations ou le système d'irrigation qui n'est pas encore bien développé mais permet à l'eau de transporter les kystes dans les champs situés en contrebas. Cela peut justifier la présence d'un nombre négligé des larves des nématodes dans la parcelle de Boumerdes.

Les densités moyennes ou faibles notées restent des taux importants et inquiétants qui doivent être pris au sérieux comme déjà signalé dans beaucoup de travaux (Rammah, 1994 ; Meagher et Brown, 1974, Shiabova, 1982, Smiley *et al.*, 1984, Ibrahim *et al.*, 1999). Ces auteurs ont montré que ce nématode peut provoquer des pertes importantes même avec des densités très faibles (2 L / g. de sol).

Selon Rivoal *et al.*, (1986), le seuil de nuisibilité est compris entre 5 et 10 larves par gr de sol. Hajjhasani *et al.*, (2010b) concluent que la densité de 20 œufs / J₂ par gr de sol réduit le rendement en grains jusqu'à 48%.

L'absence des nématodes du genre *Heterodera*, dans la région de Boumerdes peut être causée par la présence de jachère dans le système de rotation, comme c'est déjà mentionné, ou bien par l'échantillonnage non conforme dû à un prélèvement superficiel du sol ou à la périphérie de la parcelle quand celle-ci est inaccessible, au nombre insuffisant de prises élémentaires... etc

Cependant, en raison du nombre relativement faible d'échantillons collectés par rapport à la vaste zone étudiée, le résultat strict de cette enquête concernant les échantillons négatifs (par exemple, dans une ou deux parcelles d'une région) peut ne pas refléter l'occurrence exacte du NKC. Par conséquent, une enquête intensive sur la distribution du NKC est toujours nécessaire dans ces régions.

La densité du seuil de dommage dépend à la fois de facteurs génotypiques et environnementaux (Smiley et Nicol, 2009). Les NKC ne sont pas fortement limités par le type de sol, mais les dégâts sont souvent plus importants dans les sols à texture légère et sableux (Smiley et Nicol, 2009). Le seuil de dommage varie selon le type de sol, le climat, le cultivar, les espèces de nématodes, la virulence et l'écotype. Ces influences variables sur les dommages aux plantes font qu'il est difficile de relier directement la densité de population initiale à une réduction du rendement en grains (Bonfil *et al.*, 2004). Généralement, le seuil est augmenté par des réactions de résistance partielle ou totale d'un cultivar donné. De plus, le seuil diminue généralement lorsque la croissance des plantes

est stressée par des obstacles à la pénétration des racines, la sécheresse, une mauvaise nutrition du sol ou une température défavorable (Romero *et al.*, 1998; Smiley et Nicol, 2009). Cependant, l'utilisation de cultivars résistants peut conduire à la sélection de pathotypes virulents, ou peut entraîner une pénalité de rendement ou de qualité (Turner *et al.*, 1983; Whitehead, 1998).

Selon nos résultats, nous pouvons admettre que ces nématodes endommagent les céréales dans de nombreux cas. Des études de terrain sur la dynamique des populations sont nécessaires pour estimer l'impact économique de ces nématodes sur les céréales. D'autres enquêtes sont nécessaires dans d'autres régions afin de déterminer leur importances. Etant donné que le nématode peut causer des dommages considérables sur les blés, l'une des principales céréales produites en Algérie, il faut veiller à éviter sa propagation à d'autres régions. Des investigations complémentaires sont nécessaires pour identifier le pathotype de populations d'*Heterodera spp.* Algérienne.

TROISIEME CHAPITRE

Identification moléculaire de quelques populations algériennes de nématodes à kystes des céréales du genre Heterodera.

L'évaluation à long terme des communautés de nématodes dans les zones céréalières fournit des informations sur le potentiel nocif des nématodes parasites et également sur l'effet des nématodes vivants libres sur la fertilité et la durabilité des sols (Yavuzaslanoglu. E *et al.*,2020). Par conséquent, la surveillance des communautés de nématodes en termes réglementés est nécessaire; en particulier les communautés de nématodes sur les zones de production d'espèces végétales stratégiques.

La morphologie et la morphométrie sont les méthodes de base du diagnostic des nématodes. Cependant, généralement il existe une variation considérable entre les spécimens étudiés dans une espèce; les études nécessitent l'expérience et prennent du temps. De plus, le faible nombre de caractéristiques diagnostiques, en fonction de la stratégie de reproduction d'espèce nécessite une identification moléculaire (Castillo et Vovlas, 2007).

La caractérisation moléculaire est une méthode pratique et fiable, et prend en charge les études de diagnostic des nématodes. Différents marqueurs moléculaires sont utilisés pour l'identification des espèces d'Heterodera endommageant les céréales (Subbotin et coll. 2000; Grenier et coll. 2001; Madani et coll. 2008)

En Algérie, il y a aussi peu d'informations sur les caractéristiques moléculaires de ces nématodes à kystes. Par conséquent, notre étude visait à étudier les nématodes à kystes des céréales du genre Heterodera à l'aide de méthodes moléculaires. Les espèces de nématodes sont identifiées à l'aide de la technique PCR.

III .1. Matériel et méthodes

III .1.1.Matériel biologique

Des isolats de populations domestiques de nématode à kyste des céréales du genre *Heterodera* sont prélevés sur vingt échantillons de sol répartis sur 12 wilayas en 2018 (Fig.13). Le protocole d'échantillonnage et d'extraction est détaillé précédemment (Chapitre II).

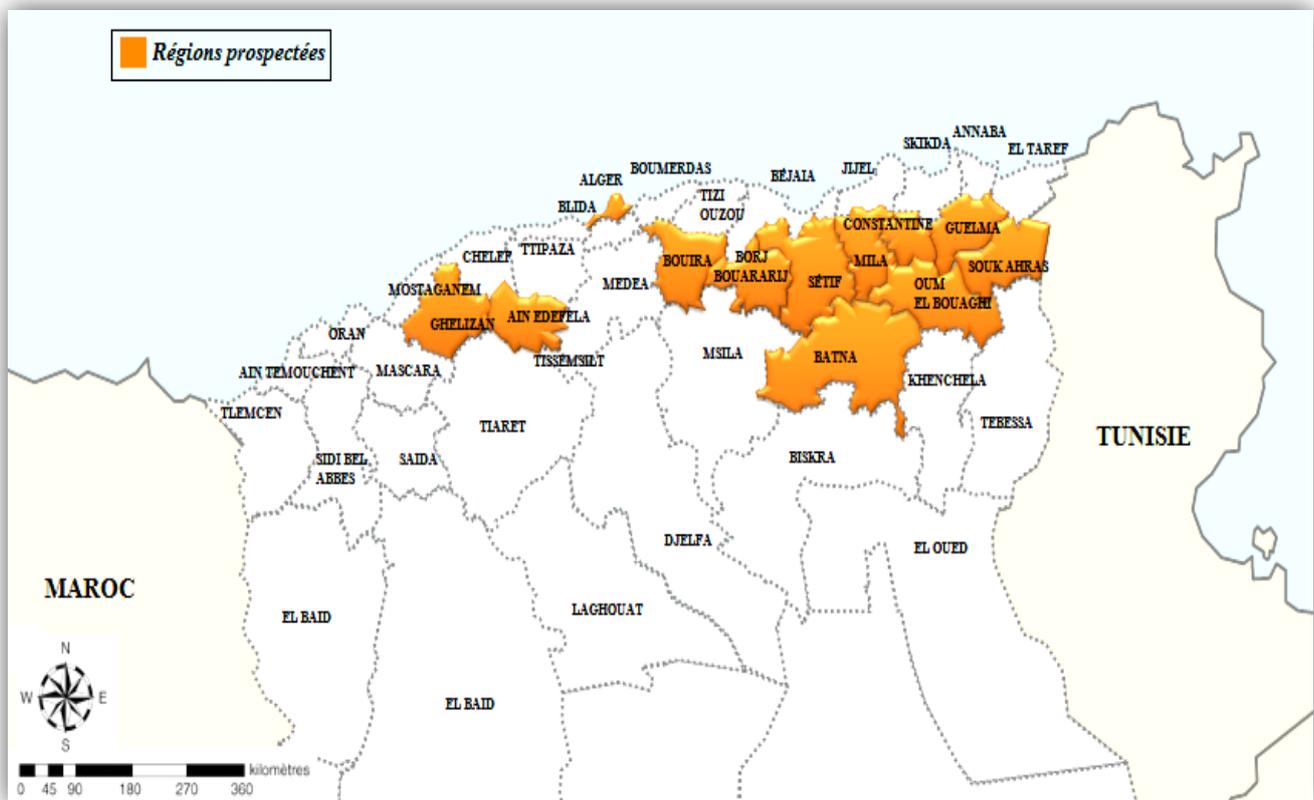


Figure 12. La répartition des régions explorées (Originale).

III .1.2. Identification moléculaire

Pour l'extraction de l'ADN, les kystes sont broyés et les juvéniles libérés dans 10 μ l d'eau distillée. Les juvéniles sont homogénéisés par un micro-homogénéisateur (photo.4), puis le lysat entier est placé dans un tube Eppendorf (photo.5) de 1,5 ml. 10 μ l de mélange réactionnel 1xPCR [Tris-HCl 75 mM (pH 8,8), 20 mM (NH₄)₂SO₄, Tween 20

0,01% (v / v)] et 2 µl de protéinase K (600 µg / ml; Qiagen GmbH, Hilden, Allemagne) sont ajoutés au lysat. Le tube a été incubé à 60 ° C pendant 30 minutes, puis 5 minutes à 95 ° C pour éliminer la protéinase K. Le tube est centrifugé à 16 000 tr / min pendant une minute. (photo.6). Le surnageant est soigneusement retiré sans perturber le culot, et transféré dans un autre tube Eppendorf et stocké à -20 ° C jusqu'à utilisation ultérieure.



Photo 4. Micro-homogénéisateur (Originale).



Photo 5. Tubes Eppendorf utilisés dans l'essai (Photo originale).



Photo 6. Thermocycleur (Originale)

L'amplification par PCR est réalisée avec les amorces F194 (5'-CGT AAC AAG GTA GCT GTA G-3') et F195 (5'-TCC TCC GCT AAA TGA TAT G-3') décrites par Ferris *et al.*, (1994) pour amplifier les régions ITS, comprenant le gène ribosomal ITS1, ITS2 et 5.8S, ainsi que des parties des gènes ribosomiaux 18S et 28S en utilisant un thermocycleur T100 (Bio-Rad, Californie, États-Unis). Les amplifications par PCR sont effectuées dans un volume réactionnel final de 25 µl comprenant 25 µl de surnageant, 200 µM de chaque dNTP, 0,5 µM de chaque amorce, 1X tampon de réaction Taq, 1,5 µM de MgCl₂ et 1 U d'ADN polymérase Dream Taq (Thermo Fisher Scientific, États-Unis). Les conditions d'amplification pour la région ITS sont de 3 min pour une étape de dénaturation initiale à 94 ° C, suivie de 35 cycles avec dénaturation pendant 30 s à 94 ° C, recuit pendant 30 s à 60 ° C et extension pendant 60 s à 72 ° C et 10 min pour l'extension finale à 72 ° C.

Un contrôle négatif (pas d'ADN matrice) est utilisé pour assurer l'absence de contamination dans le mélange réactionnel. Après l'amplification de l'ADN, 5 µl de chaque produit de PCR est mélangés avec 1 µl de colorant de chargement 6X et chargés dans du tampon TAE 1X (Sambrook *et al.*, 1989) , sur un gel d'agarose à 1,2%. Après électrophorèse (photo.8) pendant 60 min à 100 V, 100 mA, 10 W, les bandes d'ADN sont colorées avec du bromure d'éthidium (photo.7) (0,02 µg / ml) pendant 10 min. Le gel est imagé en utilisant un système de doc de gel G: BOX F3 (Syngene, UK) après coloration au bromure d'éthidium.

Les fragments ITS amplifiés sont purifiés en utilisant le kit de purification par PCR QIAquick (Qiagen GmbH, Hilden, Allemagne) et soumis à un séquençage bidirectionnel par une société commerciale (Macrogen, Inc., Séoul, Corée) à l'aide d'un analyseur génétique ABI 3500xL. Ces séquences sont ensuite identifiées à l'aide de l'algorithme BLASTn sur le site Web du NCBI ¹ . Les séquences dérivées de cette étude sont déposées dans la base de données GenBank avec les numéros d'accès indiqués dans le tableau.

¹ (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).



Photo 7. Bromure d'éthidium(Originale).

III .2.2. Analyses phylogénétiques

Les séquences ITS sont utilisées pour explorer la variabilité génomique intra spécifique des espèces d'*Heterodera* et pour déterminer les relations phylogénétiques entre les populations collectées et les populations représentatives d'*Heterodera* de différents pays disponibles dans la base de données GenBank. Au total, 24 séquences nucléotidiques sont impliquées dans l'analyse phylogénétique réalisée avec MEGA7 (Kumar *et al.*, 2016). L'histoire évolutive est déduite en utilisant la méthode du voisinage (Saitou et Nei, 1987), basée sur les distances évolutives calculées en utilisant la méthode Tamura-Nei (Tamura et Nei 1993). La prise en charge du bootstrap est calculée pour toutes les analyses utilisant 1000 répliques (Felsenstein, 1985).

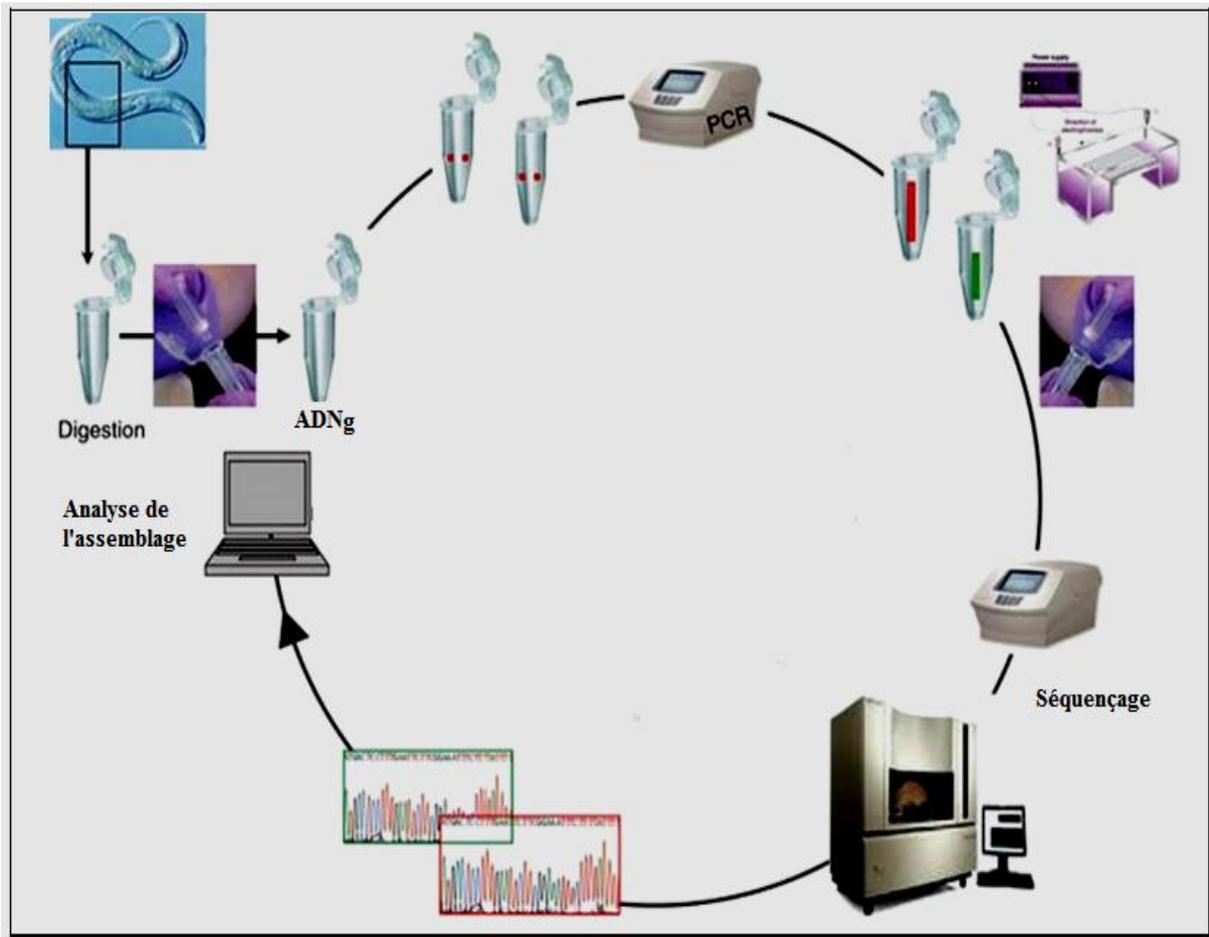


Figure 13. Etape de l'identification moléculaire



Photo 8. Electrophorèse (Originale).



Photos 9. Ecran de lecture des résultats (Originale).

III .2. Résultat

III .2.1. Identification moléculaire

Les régions ITS des 20 isolats de nématodes sont amplifiées avec succès en utilisant la paire d'amorces F194 / F195. Pour toutes les populations, les amorces ont produit un seul fragment d'environ 1040 pb. Aucun produit de PCR n'est obtenu dans le contrôle négatif dépourvu de matrice d'ADN. Toutes les populations sont classées en *H. avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae* et *H. cruciferae* en fonction du résultat du séquençage. Dix populations de kystes prélevées à Oum Bouaghi, Ain Melila 1, Ain Melila2 et Ain Melila3, Seriana, Ain Bessem, El Achir, Bordj Khaled, Guelma b et Merahna sont identifiées comme étant *Heterodera hordecalis*. *Heterodera avenae* est détectée dans cinq parcelles de Constantine, El Asnem, Oued Smar, Hammem Sokhna1 et Hammem Sokhna2. *H. cruciferae* est signalée pour la première fois en Algérie. *H. carotae* est identifiée dans les sites de Tadjenanet 2 et Merahna, tandis que *H. crucifera* est trouvée dans les sites de Meskiana, Khmiss Meliana et Relizane (Tab.8).

**TROISIEME CHAPITRE : Identification moléculaire de quelques populations algériennes de
nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* .**

Tableau 8 : Résultat d'identifications de quelques populations des nématodes du genre *Heterodera* dans quelques régions infestées, avec leurs numéros d'accession.

No	Régions	Parcelles	Espèces	Num d'accession
1	Oum Bouaghi	Oum Bouaghi	<i>H. hordecalis</i>	MK848400
2	Oum Bouaghi	Ain Melila 1	<i>H. hordecalis</i>	MK840641
3	Oum Bouaghi	Ain Melila 2	<i>H. hordecalis</i>	MK848401
4	Oum Bouaghi	Ain Melila 3	<i>H. hordecalis</i>	MK840638
5	Oum Bouaghi	Meskiana	<i>H. crucifera</i>	MK848395
6	Batna	Seriana	<i>H. hordecalis</i>	MK840640
7	Constantine	Constantine a	<i>H. aveane</i>	MK848396
8	Bouira	Ain Bessem	<i>H. hordecalis</i>	MK848399
9	Bouira	El Asnem	<i>H. aveane</i>	MK840645
10	Bourdj Bou Ariridj	El Yachir	<i>H. hordecalis</i>	MK840642
11	Ain Defla	Khmiss Meliana	<i>H. crucifera</i>	MK848393
12	Ain Defla	Bordj Khaled	<i>H. hordecalis</i>	MK848402
13	Guelma	Guelma	<i>H. hordecalis</i>	MK840637
14	Mila	Tadjenanet 2	<i>H. carotae</i>	MK840644
15	Relizane	Relizane	<i>H. crucifera</i>	MK848394
16	Souk Ahras	Merahna	<i>H. hordecalis</i>	MK840639
17	Souk Ahras	Merahna	<i>H. carotae</i>	MK840643
18	Alger	Oued Smar	<i>H. aveane</i>	MK840646
19	Setif	Hammem Sokhna 1	<i>H. aveane</i>	MK848397
20	Setif	Hammem Sokhna 2	<i>H. aveane</i>	MK848398

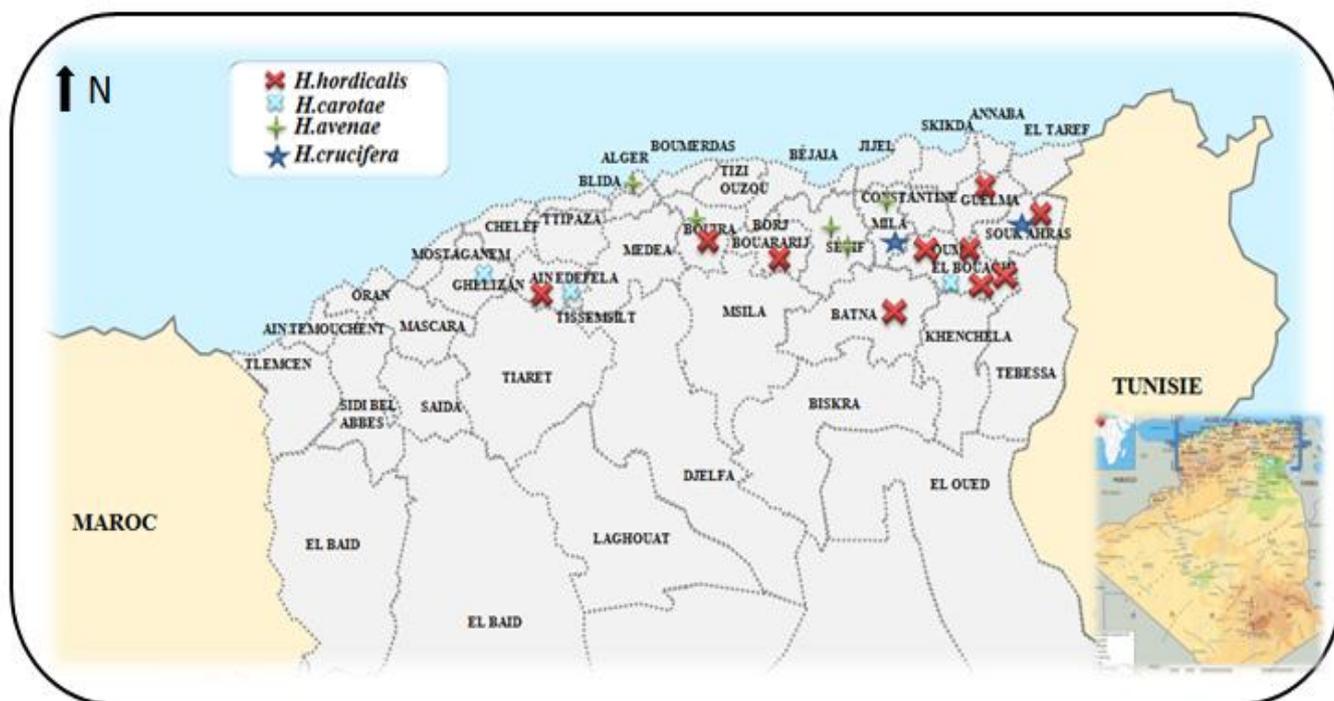


Figure 14. Répartition des espèces d' *Heterodera* spp. sur les régions prospectées.

III .2.2. Analyses phylogénétiques

L'arbre phylogénétique basé sur l'arbre des séquences ITS a regroupé les populations de douze sites géographiquement éloignés selon leur espèce (Fig.16). La relation phylogénétique des populations de nématodes à kystes appartenant aux espèces *H. avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae* et *H. cruciferae* est comparée aux génotypes internationaux (Fig.16). L'arbre phylogénétique est généré à partir de 1000 alignements de séquences bootstrap, qui sont soumis à un réarrangement global avec des répliques aléatoires.

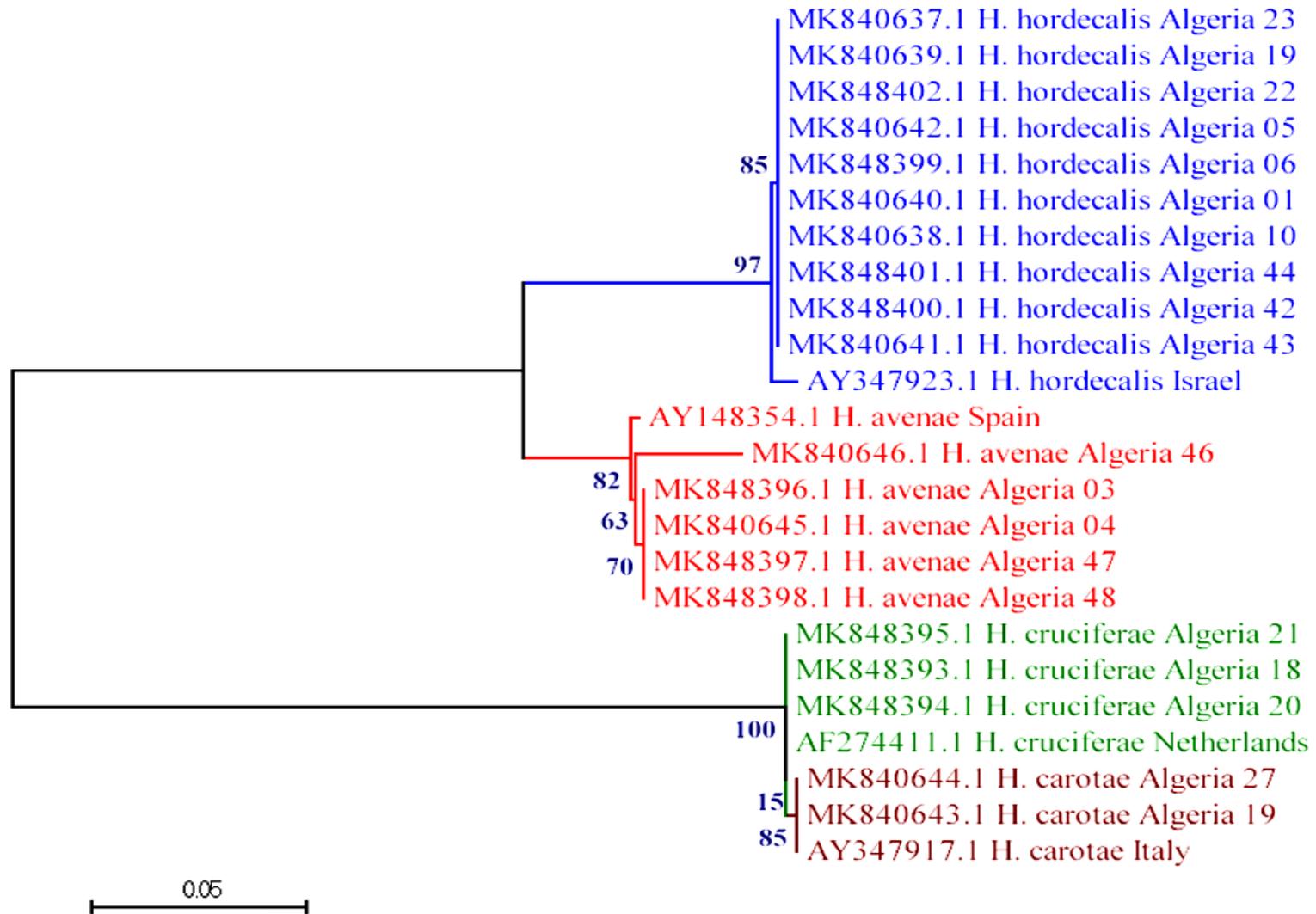


Figure 16. Arbre phylogénétique des populations d'*Heterodera* spp ; population d'origine nord d Algérie

Les populations des nématodes du genre *Heterodera* étudiées sont divisées en 3 groupes dans un arbre phylogénétique basé sur les séquences d'ADNr ITS1, ITS2 et 5.8S. Tous les groupes sont formés distinctement les uns des autres dans les séquences d'*Heterodera*, soutenus par une valeur de Bootstrap modérée à élevée (> 95%).

Le groupe I comprenait les populations d' *H hordecalis* (MK840637, MK8406379, MK848402, MK840642, MK848399, MK840640, MK840638, MK848401, MK848400 et MK840641). Le groupe II impliquait des populations d'*H. Avenae* (MK840646, MK848396, MK840645, MK848397 et MK848398). Dans ce groupe également, la population d'Algérie 46 est séparée du reste du groupe (Algérie 03,04, 47 et 48), indiquant l'existence d'une formation de sous-groupes dans le groupe II.

Les séquences des isolats du groupe II sont à 98% similaires à la séquence d'ADNr d'un isolat du nord de l'Algérie, ce qui suggère qu'il pourrait s'agir du même pathotype d'espèce. *Heterodera hordecalis* est mentionnée dans dix parcelles et *H. avenae* est rencontrée dans cinq. L'analyse phylogénétique basée sur le locus ITS de NKC a montré une forte similitude entre les populations d' *H. avenae* d'Algérie et celle de la population espagnole (AY148354), tandis que les populations d'*H. Hordecalis* présentent une forte similitude avec la population israélienne (AY347923). En raison de la variation entre les populations algériennes de *H. avenae* et *H. hordecalis*, elles peuvent être considérées comme multi-introduites en Algérie.

Le groupe III comprend deux populations de *H. carotae* (MK840643 et MK840644) et trois populations de *H. curcifera* (MK848393, MK848394 et MK848395). *Heterodera carotae* et *H. cruciferae* sont similaires aux populations d'Italie (AY347917) et des Pays-Bas (AF274411), respectivement. *H. carotae* et *H. cruciferae* ont formé un groupe bien soutenu avec les populations correspondantes.

III.3. Discussion

Cette étude a fourni de nouvelles informations sur la distribution et l'occurrence de *Heterodera avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae* et *H. cruciferae* dans les principales zones de culture du blé dans le nord de l'Algérie. *H. hordecalis* est détectée pour la première fois dans les parcelles de blé de Batna, Tiaret, Tlemcen, Setif et Sidi Bel Abbes (Smaha *et al.*, 2018). La contamination de diverses zones céréalières d'Algérie par *H. avenae* est détectée par des études antérieures (Mokabli *et al.*, 2002; Tirchi *et al.*, 2016). Smaha *et al.*, (2018) ont noté *H. avenae* comme l'espèce la plus commune présente dans 23% des champs de blé dans les 16 emplacements. Mokabli *et al.* (2002) ont signalé la présence des deux espèces *H. avenae* et *H. latipons* dans d'autres régions d'Algérie telles que Béjaïa, Dar El Beïda, Mascara, Relizane et Setif. Notre étude a révélé que *H. avenae* est plus étendu que les résultats des rapports précédents. *H. latipons* n'est rencontrée dans aucun des champs échantillonnés.

La région ITS est couramment utilisée pour discriminer les espèces de nématodes, ainsi que le genre de *Heterodera spp.* Elle permet de révéler un polymorphisme intraspécifique parmi certains isolats appartenant à une espèce (Subbotin *et al.*, 2003; Baklawa *et al.*, 2015; Imren *et al.*, 2015; Mokrini *et al.*, 2017). Dans cette étude, les analyses phylogénétiques basées sur la séquence ITS ont fourni des informations utiles aux espèces de séparation et une petite variation parmi les populations algériennes de *H. avenae*, ce qui est compatible avec les précédents rapports d'études examinant le polymorphisme parmi les populations de *H. latipons* et *H. avenae* dans les zones céréalières (Bekal *et al.*, 1997; Subbotin *et al.*, 1999; Rivoal *et al.*, 2003; Madani *et al.*, 2004; Imren *et al.*, 2015). Subbotin *et al.*, (2003) ont rapporté que les populations d'*H. Avenae* obtenues d'Afrique, d'Europe et d'Asie formaient plusieurs grappes basées sur l'analyse phylogénétique de la région des STI. Baklawa *et al.*, (2015) ont montré le regroupement du complexe *H. avenae* en un seul cluster, avec une valeur d'amorçage élevée. Par ailleurs, Abidou *et al.*, (2005) n'ont pu déterminer aucun polymorphisme intraspécifique parmi les populations d'*H. Avenae* de Syrie et de France. Imren *et al.*, (2015) rapportent le polymorphisme intraspécifique basé sur les séquences ITS observées dans les populations d'*H. Avenae* de la partie méditerranéenne orientale de la Turquie. Cependant, Mokrini *et al.*, (2017) ont regroupé les populations d'*H. avenae* de différentes parties du Maroc dans le même cluster avec une forte similitude. Aucun polymorphisme parmi les populations de *H. hordecalis* n'est trouvé dans cette étude

alors que l'étude réalisée par Smaha *et al.*, (2018) a regroupé les populations d'*H. Hordecalis* d'Algérie en un seul groupe avec une valeur bootstrap élevée. Madani *et al.*, (2018) ont démontré l'identité 100% nucléotidique des séquences ITS des isolats d'*H. Hordecalis* d'Italie et de Russie. De même, dans cette étude, toutes les populations algériennes de *H. hordecalis* sont regroupées dans le même cluster avec une valeur de bootstrap élevée.

Heterodera carotae est un nématode à kyste endoparasitaire hautement spécialisé, connu sous le nom de nématode à kyste de la carotte infectant uniquement les carottes cultivées et sauvages ainsi que le persil de couverture (*Torilis leptophylla* L.). Il est responsable du déclin des rendement des carottes dans plusieurs pays (Jones, 1950; Mugniery et Bossis, 1988; Subbotin *et al.*, 2010). Subbotin *et al.*, (2010) ont noté que *H. carotae* avait une gamme d'hôtes étroite: y compris les carottes et *T. leptophylla*. *H. carotae* a provoqué une grave perte de rendement allant de 20 à 90% dans les carottes cultivées en Italie (Greco *et al.*, 1994). La distribution de ce pathogène est limitée à l'Afrique du Sud et à l'Europe; cependant, il a également été déterminé à Chypre, en Inde et en Amérique du Nord; au Michigan, aux États-Unis et en Ontario, au Canada (Graney, 1985; Berney et Bird, 1992; Subbotin *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2017; Madani *et al.*, 2018). Cette étude a révélé que *H. carotae* est détectée pour la première fois dans les provinces de Tadjenanet-2 et Merahna dans le nord de l'Algérie où cette culture existe. Deux populations de *H. carotae* se sont regroupées avec une valeur bootstrap de 96%. Ces populations sont conformes à la population de *H. carotae* d'Italie (AY347917) dans l'arbre phylogénétique.

Heterodera crucifera est enregistrée pour la première fois dans la province de Meskiana, Khmiss Meliana et Relizane 2 située dans le nord de l'Algérie. Le nématode attaque différentes espèces de Brassicaceae et provoque des pertes en série dans la production des cultures (Subbotin *et al.*, 2010). *H. crucifera* est signalée dans des zones de culture du chou aux États-Unis (Californie), en Europe, en Australie-Méridionale, en Iran et en Azerbaïdjan oriental (Stone et Rowe, 1976; Whitehead, 1998; Sturhan et Liskova, 2004; Jabbari et Niknam, 2008). La longueur des fragments ITS de la population d'*Heterodera crucifera* obtenue dans cette étude correspond au fragment de la population de *H. cruciferae* (AF274411) des Pays-Bas. Les séquences ITS des populations de *H. cruciferae* sont différentes dans 3 nucléotides de celles des populations de *H. carotae* dans cette étude. Subbotin *et al.*, (2001) et Madani *et al.*, (2004) ont rapporté la similitude entre les séquences nucléotidiques de *H. cruciferae* et *H. carotae*. Chizhov *et al.*, (2009) ont informé que *H.*

cruciferae de Moscou regroupées dans un clade avec la population de *H. carotae* de la base de données GenBank. Shubane (2018) a indiqué une forte similitude nucléotidique de 99% entre *H. cruciferae* d'Afrique du Sud et la population de *H. carotae*.

Des enquêtes menées au cours des deux dernières décennies ont signalé la présence de nématodes à kystes du genre *Heterodera* dans presque toutes les zones céréalières du nord de l'Algérie (Smaha *et al.*, 2018). La fréquence des espèces d'*Heterodera* dans les régions productrices de blé pourrait être un facteur limitant de la production de blé en Algérie, qui est une culture stratégique dans l'agriculture algérienne.

Le blé a une valeur socio-économique importante pour l'Algérie, des enquêtes détaillées supplémentaires dans d'autres régions productrices de blé sont nécessaires. Les densités de population des espèces de nématodes *Heterodera* devraient être supprimées pour les maintenir en dessous des seuils de nuisibilité par des mesures de gestion appropriées utilisant des variétés de blé résistantes et en appliquant une rotation des cultures appropriées.

QUATRIEME CHAPITRE

Etude du comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae* Woll. (Nematoda, Heteroderidae)

Les relations entre le parasite et la plantes peuvent être de différentes natures. On parle de résistance ou sensibilité si l'on fait référence à l'évolution des populations de nématodes qui parasitent la plante. On parle de tolérance ou non si l'on fait référence à l'état sanitaire (symptômes et dégâts) de la plante parasitée (Cook et Evans, 1987). Il est de même nécessaire de signaler la compatibilité ou l'incompatibilité si l'on fait référence selon Mataille (1994), aux mécanismes physiologiques et aux régulations métaboliques de la plante parasitée, acquis ou induits par le nématode. La résistance est définie par Smiley et Yan (2010) comme étant la capacité de l'hôte à inhiber la multiplication du nématode.

Il est bien admis que la production de blé doit être augmentée considérablement dans un avenir prévisible pour répondre aux besoins nutritionnels d'une population humaine en croissance (Oerke et Dehne, 2004), et la réduction des pertes de rendement causées par les nématodes à kystes des céréales est une façon de contribuer à cette augmentation. Les caractères essentiels désirables des cultures par les agriculteurs sont un meilleur rendement en céréales, tolérance, résistance aux maladies et qualité du grain. Beaucoup de méthodes de lutte telles que les pratiques culturales, la génétique (résistance / tolérance), les pratiques biologiques et chimiques sont disponibles pour diminuer et maintenir la densité de population de nématodes à kystes des céréales en dessous du seuil de nuisibilité (Rivoal et Nicol 2009).

Dans ce contexte, nous avons jugé utile de mener un essai sur le comportement de quatre variétés de blé dur (*triticum durum*) vis-à-vis d'une population d'*Heterodera avenae* d'origine de Ain Defla. Notre but est d'évaluer la relation entre la densité de population d'*H. avenae*, la croissance et le rendement de la plante hôte, ainsi que la capacité de reproduction de ces nématodes sur les différentes cultivars.

IV.1. Matériel et méthodes

IV.1.1. Matériel végétal

Le choix a porté sur le blé dur (*Triticum durum*), nous avons choisi les variétés les plus cultivées par les agriculteurs, il s'agit de : Mohamed ben Bachir, Hedba 3 (variétés locales), Ofanto et Simeto (variétés importées). Les semences proviennent de CNCC (Centre National de Contrôle et Certifications des Semences et des plants), El Harrach, Alger. (Tab. annexe).

IV.1.2. Matériel biologique

L'échantillonnage du sol est effectué à la fin du mois de novembre 2017, à partir d'une parcelle de 2 ha à Ain Defla (36°15' 55"N ; 1°58 '13" E, étage bioclimatique : Semi aride), dont le précédent cultural était le blé dur (*Triticum durum*). Le prélèvement est réalisé d'une manière aléatoire selon les deux diagonales à partir d'une profondeur de 15 à 30 cm, plusieurs prises élémentaires de presque 100 g pour chacune ont été mélangées puis mises dans un sac en papier munis d'une étiquette indiquant les informations nécessaires sur la parcelle.

Au laboratoire, les analyses nématologiques et l'extraction des kystes sont faites selon le protocole expliqué en détaille dans le chapitre II. À partir des kystes récoltés, seulement les gros kystes sont choisis pour l'étude. Les kystes matures sont prélevés puis stérilisés en surface avec 0.5% de NAOCL pendant 10mn et finalement rincés plusieurs fois à l'eau distillée. Les kystes sont conservés entre 4 et 5 °C pendant 4 à 5 semaines avant d'être utilisés comme inoculum. Les kystes sont transférés à une température ambiante de 10°C (8h) pendant 3jours pour améliorer l'éclosion (Dababat *et al.*, 2014).

Le nombre moyen de juvéniles du deuxième stade (J_2) par kyste, déterminé par dénombrement du contenu de 5 échantillons de 20 kystes prélevés au hasard, est de 260.4 Œufs et J_2 s/ kyste. Cela se fait par écrasement de chaque kyste séparément sous loupe binoculaire.

La population d'*Heterodera avenae* utilisée est collectée à partir d'une parcelle céréalière provenant de la région de Ain Defla, identifiée par **Djetti *et al.*, 2018** (Non publié), (NCBI ; sous le numéro d'accèsion (MG800685 ; MG800687 ;MG800689).



Photo 10. Population d' *H. avenae* sous loupe binoculaire (Originale).

IV.1.3. Préparation des semences

Les grains sont trempés dans une solution javellisée à 5% durant 7min, rincés à l'eau de robinet et posés sur papier buvard humide dans des boîtes de Pétri. Celles-ci séjournent 24-48h à 3-4°C puis sont transférés à 20-22°C. On utilise les semences avec des racines longues d'un cm maximum.

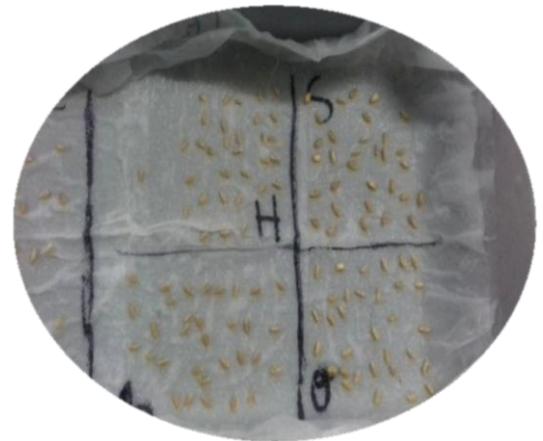


Photo11. Germination des grains(Originale).

IV.1.4. Itinéraire technique

L'essai a été réalisé au niveau de la station expérimentale de l'ENSA (Ecole Nationale Supérieure Agronomique), El Harrach, Alger, à une altitude de 48 m à 3°08 de longitude Est 36°43 de latitude Nord.



Photo 12 . Vue générale de l'essai de comportement variétal (1^{ère} année, originale).



Photo 13 . Vue générale de l'essai de cmrtement variétal (2^{ème} année , originale).

QUATRIEME CHAPITRE : Etude du comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae* Woll. (Nematoda, Heteroderidae)

Le sol utilisé dans l'essai est stérilisé dans une étuve à 120°C pendant 2h, une fois refroidi, il est tamisé, puis mélangé avec le terreau (1/3 sol + 2/3 terreau) pour former un mélange de 1 kg par pot (25 cm de diamètre, 15 cm de long).



Photo 14. Mélange de sol (Originale).

Chaque pot reçoit un inoculum de 20 kystes pleins, ensachés dans un petit sac en tulle de 250 microns permettant la sortie des larves, placé à une profondeur de 3 cm environ. Chaque pot est perforé afin de permettre un bon drainage de l'eau d'irrigation.



Photo 15. Inoculation de sol (Originale).

Le semis est effectué trois jours après l'inoculation à raison de 5 caryopses germés par pot. Une humidité convenable du sol est entretenue par des arrosages réguliers tous les deux jours

(Zancada et Althofer, 1994) in Smaha (1998). Nous avons réalisé notre essai en 2016-17, puis, l'expérience est répétée la saison suivante 2017-18, avec le même itinéraire technique dans les mêmes conditions pour confirmer nos résultats.

IV.1.5. Dispositif expérimental

L'essai est réalisé selon un dispositif en blocs en randomisation avec 4 répétitions par variétés.

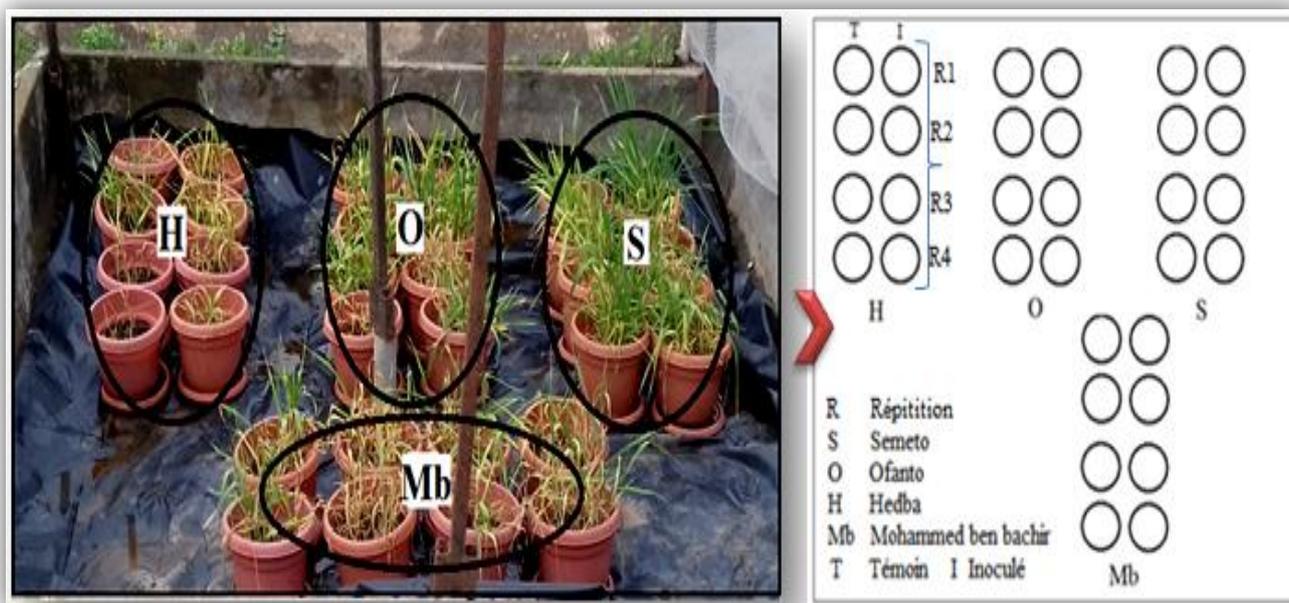


Figure 16. Dispositif expérimentale de l'essai de comportement variétal (Originale).

Les températures et l'humidité sont contrôlées est mentionnées régulièrement en cours de végétations.

IV.1.5.1. Entretien des cultures

Les plantes sont arrosées puis fertilisées pendant l'expérimentation. Le désherbage manuel est effectué à chaque fois qu'il y a apparition de mauvaises herbes dans les pots.

IV.1.5.2. Fertilisation

L'apport engrais de fond (NPK : 15-15-15) est apporté avant le semis.

- L'apport d'azote s'est fait en plusieurs fractions, le premier a été apporté au stage **trois feuilles**, sous forme Urée (100kg/ha) : Dose 46unités/ha ; Le 2^{ème} en **plein Tallage** : Urée (100kg/ha) : Dose 46unités/ha et le dernier au stade Montaison Urée (100kg/ha) : Dose 40 unités/ha.
- L'apport en phosphore a été apporté sous forme Phosamco 6sp (2.5kg/ha) aux stades Plein tallage et Epiaison, dose : 0.5 unités/ha. vérifier dans votre essai.



Photo 16. Application de la fertilisation des plantes (Originale).

IV.1.5.3. Traitements phytosanitaires

Différents traitements sont appliqués le long de cycle de la culture. Le traitement se fait dès l'observation des premiers symptômes des maladies fongiques ou des premières populations des ravageurs. (Insecticides, acaricide, fongicides, appât empoisonné).

IV.1.6. Les maladies rencontrées



A : Développement de l'oidium sur les feuilles de blé ; B : Helminthosporiose sur les feuilles de blé ; C : Les pucerons sur les feuilles de blé ; D : Jaunissement des feuilles

Photo 17. Maladies signalées sur le blé durant l'essai

IV. 1.7. La récolte

Le tableau suivant résume les dates de semis et de récolte pour les deux années de l'essai.

Tableau 9: Dates de semis et de récoltes des deux années de l'essai

Année	Date de semis	Date de récolte
2016-17	18 Décembre	22 Juin 2017
2017-18	15 Décembre	28 Juin 2018

IV. 1.8. Les paramètres mesurés

IV. 1.8.1. Paramètres de croissances

A la fin de l'essai, les paramètres de croissance sont pris en considération ; représentés par la longueur d'épi, hauteur de tige, nombre d'épi/plant.

- Longueur d'épi: est déterminée à partir de la distance entre la base de l'épi jusqu'à son extrémité hormis des barbes.
- Hauteur de tige : Il est déterminé par la mesure de la distance en centimètre entre la base de la tige et celle de l'épi.
- Nombre des épis : le nombre des épis est calculé pour les plants témoins et inoculés pour chaque variété.

IV.1.8.2. Paramètres de rendement

- Nombre de grains/épi : Nous avons calculé le nombre des grains par épi pour chaque variété.
- Poids de 1000 grains : Des échantillons de 1000 grains pour chaque variété sont comptés à l'aide d'un compteur de grains (photo 18), puis pesés à l'aide d'une balance de précision (photo 19).
- Selon (Hajihassani *et al.*, 2010), Le rendement (Rend) est calculé par la formule suivante :
 - **Rend** = Nombre de grains / pot rapporté à un hectare sur la base de la surface du pot.

En se référant à Namouchi-kachouri *et al.*, 2006 , La perte de rendement (P.R) est calculée par la formule suivante :

- **P.R** = 100 - % de rendement



Photo18. Balance de précision (Originale).



Photo 19. Compteur de grain (Originale).

IV.1.9. Reproduction des nématodes

Après six mois de culture, les racines sont arrachées, puis examinées sous loupe binoculaire (Gross*10) afin de compter le nombre des kystes fixés. Nous avons réalisé une extraction des kystes à partir du sol de chaque pot par l'appareil de Fenwick pour dénombrer les kystes néoformés. La population finale (Pf) est calculée à partir de kystes prélevés sur racines et sol.

Le facteur de reproduction (Rf) est calculé à partir de la formule suivante :

$$\mathbf{Rf} = \mathbf{Pf/Pi}, \quad \mathbf{Pi} : \text{Nombre initial des kystes par 100g de sol.}$$

Pf : Nombre des kystes néoformés à la fin de l'essai, par 100 g de sol.

Le taux de multiplication est exprimé en % à partir de la formule suivante :

$$\mathbf{Tr} \% = \mathbf{Rf * 100}$$



Photo20. Observations des dégâts des rongeurs sur les épis des différentes variétés.



Photo21. Mensuration des paramètres de croissance et de rendement.

IV.2. Analyse des données

Les données recueillies relatifs aux sensibilités des variétés de blé dur, vis-à-vis les nématodes à kystes *Heterodera avenae* : Paramètres de croissance, le rendement et ses composantes, sont soumis à une analyse de la variance ANOVA à un facteur : Variétés, par le logiciel : IBM SPSS STATISTICS 20. Elles sont traitées par le test de Dunnett pour faire sortir les groupes homogènes et non homogènes.

Après avoir calculé le taux de reproduction des nématodes de chaque variété, nous avons utilisé une échelle établie par Valocka *et al.*, (1994), pour évaluer la sensibilité des variétés ,et confirmer les résultats précédents.

L'échelle établie par Valocka *et al.*, (1994) s'est présentée comme suit :

I	0 - 2 %	Très fortement résistante
II	2,1 - 5 %	Fortement résistante
III	5,1 - 15 %	Résistante
IV	15,1 – 30%	Résistante à moyennement résistante
V	30,1- 50 %	Moyennement résistante
VI	50,1 – 70%	Moyennement résistant à fortement sensible
VII	70,1- 90 %	Fortement sensible
VIII	90,1- 100 %	Fortement sensible à très fortement sensible
IX	>100 %	Très fortement sensible

IV.3. Résultats

IV.3.1. Paramètres de croissances et composantes de rendement

Les résultats de l'analyse de la variance, relatifs aux paramètres de croissance et de rendement sont reportés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Paramètres de croissance et de rendement des variétés testées

Variétés	Année		Longueur d'épi	Hauteur de tige	Epi/plant	Grains /épi	PMG	Grains /pot
Hedba3	1 ^{ère}	T	7.25±1.708 ^c	71.75± 16.820 ^b	2.50±0.577 ^{ab}	26.00±5.292 ^a	37.75±9.287 ^a	327.50±104.921 ^{ab}
		I	5.50±1.000 ^b	55.50±11.030 ^b	1.25±0.500 ^a	24.00±5.228 ^a	31.75±7.676 ^a	156.25±91.413 ^a
	2 ^{ème}	T	8.2500±0.95743 ^b	52.2500±4.78714 ^a	1.7500±0.50000 ^a	26.7500±2.75379 ^a	35.5000±4.50925 ^{ab}	230.0000±55.97619 ^a
		I	7.0000±0.00000 ^c	49.5000±9.46925 ^a	1.5000±0.57735 ^a	24.0000±5.22813 ^a	31.0000±2.94392 ^{ab}	180.0000±82.05689 ^a
MB	1 ^{ère}	T	6.00±0.816 ^{bc}	63.50±12.234 ^b	2.75± 0.957 ^{ab}	25.50±3.416 ^a	34.25±6.946 ^a	353.75±136.221 ^{ab}
		I	4.50±0.577 ^{ab}	53.25±5.058 ^b	1.75±0.500 ^{ab}	23.75±3.594 ^a	32.00±5.944 ^a	208.75±71.923 ^{ab}
	2 ^{ème}	T	4.7500±0.95743 ^a	55.5000±8.34666 ^a	3.2500±1.70783 ^a	26.0000±3.16228 ^a	33.2500±6.39661 ^a	442.5000±263.77073 ^a
		I	3.2500±0.50000 ^a	53.2500±10.30776 ^a	1.7500±0.50000 ^a	24.5000±4.04145 ^a	23.0000±16.26858 ^a	215.0000±75.05553 ^a
Ofano	1 ^{ère}	T	4.25±0.5 ^a	41.25±3.500 ^a	2.00±0.816 ^a	24.50±1.291 ^a	34.50±6.028 ^a	243.75±96.728 ^a
		I	4.00±0.000 ^a	38.00±4.082 ^a	1.75±0.500 ^{ab}	22.25±4.787 ^a	33.50±4.359 ^a	200.00±82.865 ^{ab}
	2 ^{ème}	T	4.5000±1.29099 ^a	54.0000±6.87992 ^a	3.0000±0.81650 ^a	24.5000±2.51661 ^a	31.7500±5.73730 ^a	372.5000±135.00000 ^a
		I	4.5000±1.29099 ^b	50.2500±5.31507 ^a	1.7500±0.95743 ^a	20.5000±1.29099 ^a	31.0000±2.70801 ^{ab}	181.2500±107.42245 ^a
Semeto	1 ^{ère}	T	5.25±0.5 ^{ab}	44.50±2.082 ^a	3.50±0.577 ^b	28.75±2.986 ^a	42.75±4.573 ^a	505.00±113.578 ^b
		I	4.00±0.816 ^a	40.50±4.796 ^a	2.25±0.500 ^b	26.25±2.500 ^a	36.25±5.560 ^a	298.75±92.410 ^b
	2 ^{ème}	T	5.2500±0.95743 ^a	45.5000±4.65475 ^a	3.0000±0.81650 ^a	28.5000±1.73205 ^a	42.7500±2.87228 ^b	426.2500±109.34464 ^a
		I	5.0000±0.00000 ^b	43.5000±4.72582 ^a	1.7500±0.50000 ^a	26.0000±1.41421 ^a	37.5000±4.79583 ^b	227.5000±66.52067 ^a

T : témoin. I : inoculé. PMG : Poids de 1000grains .Tr% : Taux de reproduction des nématodes

*Selon le test de Dunnett à p <0,05 (n = 4), les groupes, les valeurs présentées avec la même lettre ne sont pas significativement différents entre elles

IV.3.1.1. Variété de Hedba3

Les résultats de nos analyses ont permis de noter une différence significative entre les longueurs des épis des plants en présence et en l'absence de nématode en 1^{ère} année et en 2^{ème} année de l'essai. Il faut mentionner que la longueur des épis des plants inoculés est plus réduite en 1^{ère} année qu'en 2^{ème} année.

Par ailleurs, nous avons noté une différence non significative entre les longueurs des tiges des plants témoins et inoculés en 1^{ère} année qu'en 2^{ème} année. Toutefois, la différence est significative entre les longueurs des tiges des plants inoculés de la 1^{ère} année et celles des plants inoculés de la 2^{ème} année avec une réduction notable en 2^{ème} année par rapport à la première.

En comparant le nombre d'épis par plant, nous avons obtenu une différence non significative dans les blocs témoins et inoculés durant les deux années consécutives. Il est de même en ce qui concerne le nombre de grains par plant.

Concernant le paramètre poids de 1000 grains (PMG), aucune différence significative n'est enregistrée malgré la réduction de ce paramètre en 1^{ère} année par rapport à la deuxième.

IV.3.1.2. Variété de Mohamed ben Bachir

Avec ces qualités de variétés du terroir comme Hedba3, le suivi et les notations sur le paramètre longueur des épis, les résultats font mention d'une différence non significative sur les deux années d'expérimentation.

Le suivi du développement des plants avec des mensurations sur la longueur des tiges a fait ressortir une différence non significative des plants témoins et ceux inoculés en 1^{ère} et en 2^{ème} année de culture. Néanmoins, nous avons obtenu une différence significative entre les plants inoculés sur les deux années. La longueur des tiges est plus réduite en 1^{ère} année par rapport à la deuxième.

Une culture restreinte en pots des variétés de blé dur inoculées avec des kystes pleins de nématodes rend la difficulté du suivi de la culture durant tous les stades de développement. Les observations et le comptage du nombre des épis par pot et par bloc inoculé et témoin font mention d'une différence non significative durant les deux périodes de cultures.

Après récolte des épis, nous avons procédé à l'étude de la composante du rendement qui est le PMG. Il est noté que ce paramètre est réduit dans les pots inoculés en 2^{ème} années sans toutefois donner une différence significative

IV.3.1.3.Variété d'Ofanto

Les variétés introduites comme Ofanto et Simeto dans le but d'améliorer la production en Algérie ont fait l'objet de tests de développement et d'adaptation dans nos milieux. Pour la première fois, ces variétés sont soumises à un inoculum des nématodes à kystes en comparaison avec des témoins. La variété Ofanto comme celle des autres déjà testées comme Hedba3 ou Mohamed Ben Bachir n'a donné aucune différence significative concernant le nombre d'épi par plant dans les deux blocs et sur les deux années de culture.

Le même résultat est enregistré sur les paramètres ; longueur des tiges, nombre grains par épi et le poids de 1000 grains (PMG) durant les deux années de l'essai.

IV.3.1.4.Variété de Simeto

Bien introduite en Algérie, la variété Simeto semble être bien adaptée aux conditions du pays par ses rendements enregistrés dans plusieurs régions. Néanmoins, sa résistance vis-à-vis des nématodes à kystes reste à vérifier. Pour cela nos tests et essais sont menés dans ce but afin de déterminer les effets de l'inoculum des nématodes sur les composantes de rendement. Les mensurations des longueurs des épis dans deux bols ; témoin et inoculé n'ont montré aucune différence significative en 1^{ère} année. Avec une meilleure conduite en 2^{ème} année, l'expression des résultats comparée avec les témoins a fait mention d'une différence significative. Il en est de même pour ce qui est de la longueur des tiges et le nombre d'épis par plant. Notons que ce dernier paramètre, la comparaison entre les deux années a montré une différence significative.

Le même constat est enregistré sur le paramètre nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains sur les deux années successives.

Les comparaisons entre les variétés utilisées à savoir Hedba3, Mohamed ben Bachir, Simeto et Ofanto en fonction de l'inoculum de 20 kystes par pot n'ont donné aucune différence significative. Les notations enregistrées sur ce paramètre font apparaître une vigueur réduite de la Variété Ofanto malgré cette différence.

Le suivi des analyses a fait ressortir également une différence non significative concernant le paramètre longueur des tiges en comparant les quatre variétés entre elles. Les comparaisons entre le nombre d'épi par plant, la longueur des épis et le poids de le PMG des quatre variétés ne sont significatives,

IV.3.2. Le taux de reproduction du nématode à kyste en pots

Les cycles des cultures céréalières se font sur plus de 6 mois. Notre nématode en question est de type méridional ; un écotype caractérisé par une activité hivernale. L'activité du nématode associée aux variétés déjà citées donne une possibilité de développement sur les racines par une multiplication jusqu'à la formation des kystes. Sur la base de l'inoculum connu sur les variétés en question, le taux de reproduction est calculé à la fin de la culture.

Le tableau 11 présente le nombre initial des kystes (**pi**), nombre des kystes néoformés (**pf**), facteur de reproduction (**Rf**), Taux de reproduction (**Tr%**).

Tableau 11. Densité de population finale (Pf) et facteur de reproduction (Fr) d' *H.avenae* sur quatre variétés cultivées de blé dur.

	1ère année				2ème année			
	Pi	Pf	Rf	Tr (%)	Pi	Pf	Rf	Tr (%)
MB	2	1,725	0,8625	86,25	2	1,375	0,6875	68,75
Hedba3	2	1,05	0,525	52,5	2	1,025	0,5125	51,25
Simeto	2	2,225	1,1125	111,25	2	2	1	100
Ofanto	2	0,925	0,4625	46,25	2	1,075	0,5375	53,75

Nous avons constaté que le taux de reproduction d' *Heterodera avenae* est plus élevée sur la variété Simeto par rapport aux autres variétés étudiées. Le Tr % de Simeto en 1^{ère} année (111,25 %) est plus élevé qu'en 2^{ème} année (100 %). Le taux de reproduction le plus faible du nématode est enregistré sur la variété Ofanto en 1^{ère} année (46,25 %).

La variété MB a signalé un taux de reproduction de 86,25% en 1^{ère} année et 68,75 % en 2^{ème} année ; qui est supérieur par rapport à celui de Hedba 3 (Tr en 1^{ère} année = 52,5 % ; Tr en 2^{ème} année = 51,25 %).

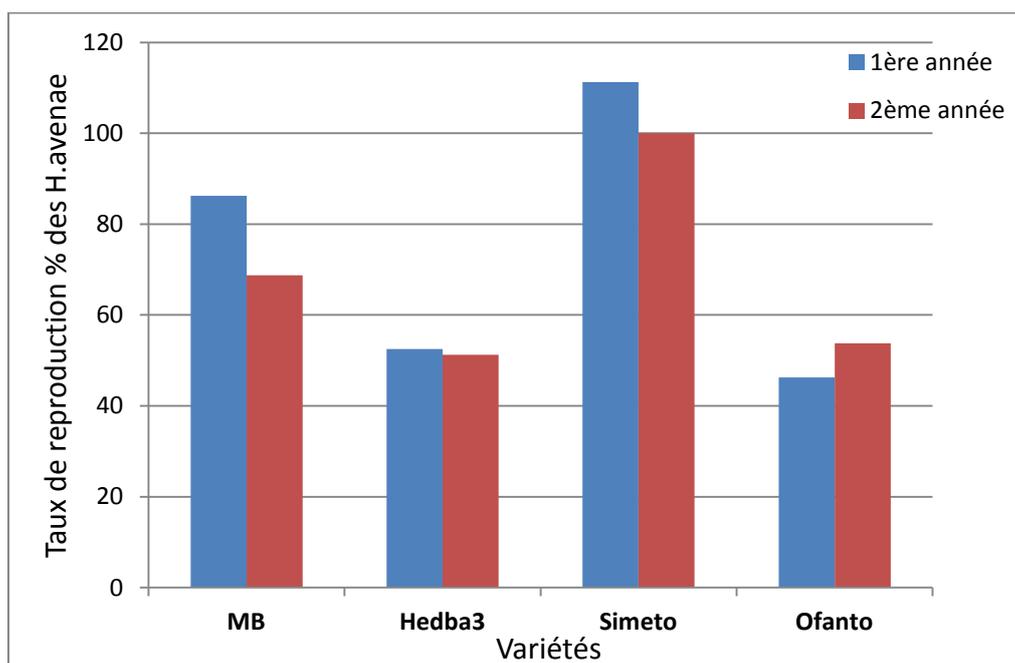


Figure 17. Reproduction des nématodes sur les variétés testées.

Tableau 12: Réaction de différentes variétés de céréales étudiées vis-à-vis d'une population d'*Heterodera avenae*.

Variétés	Tr%		Echelle de Valocka (1994)	
	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année
Ofanto	46,25	53,75	V	VI
Simeto	111,25	100	IX	VII
MB	86,25	68,75	VII	VI
Hedba3	52,5	51,25	VI	VI

Il ressort du tableau des résultats traités sur l'échelle utilisée de Valocka *et al.*, (1994), des différences entre les réactions des variétés les deux années de l'essai. Les variétés Ofanto et Hedba3 ont permis une multiplication faible de nématode. Plus intensivement, les variétés MB et Simeto sont dévoilées fortement sensibles à très fortement sensibles.

IV.3.3. Rendement des variétés testées

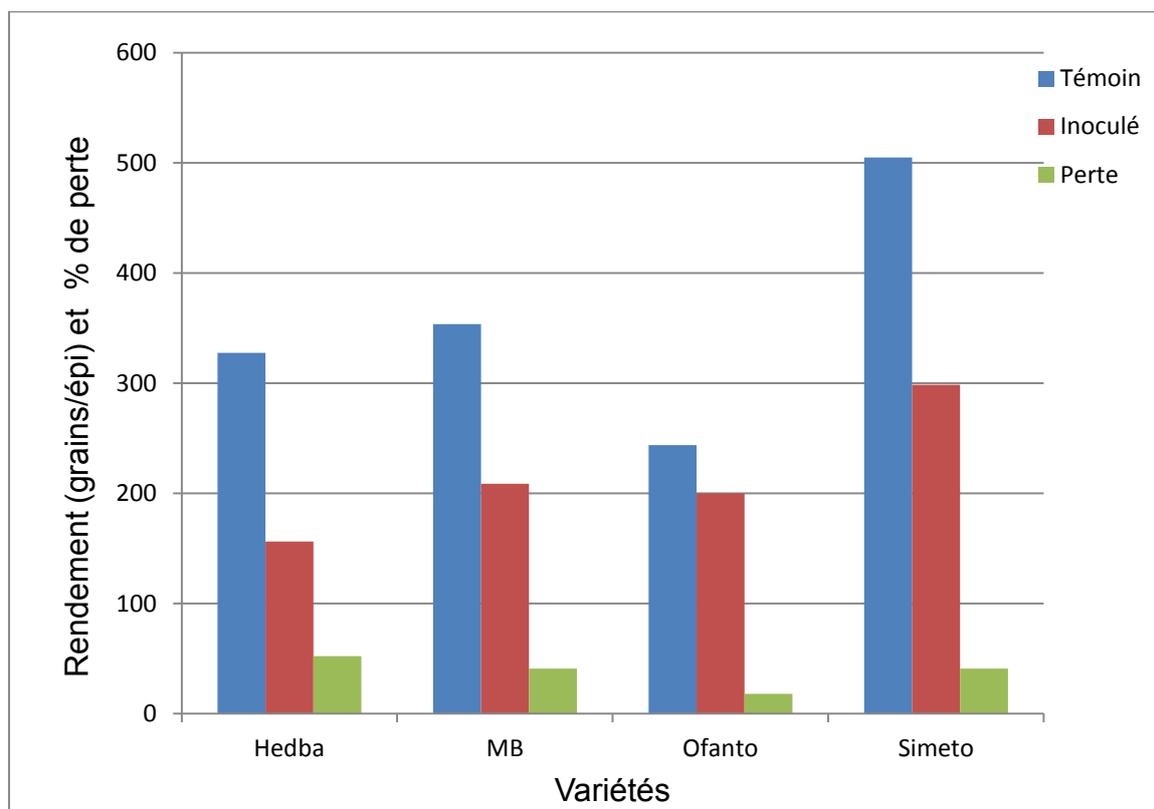


Figure 18. Rendement de blé en l'absence et en présence d'*Heterodera*, % de perte de rendement en 1^{ère} année.

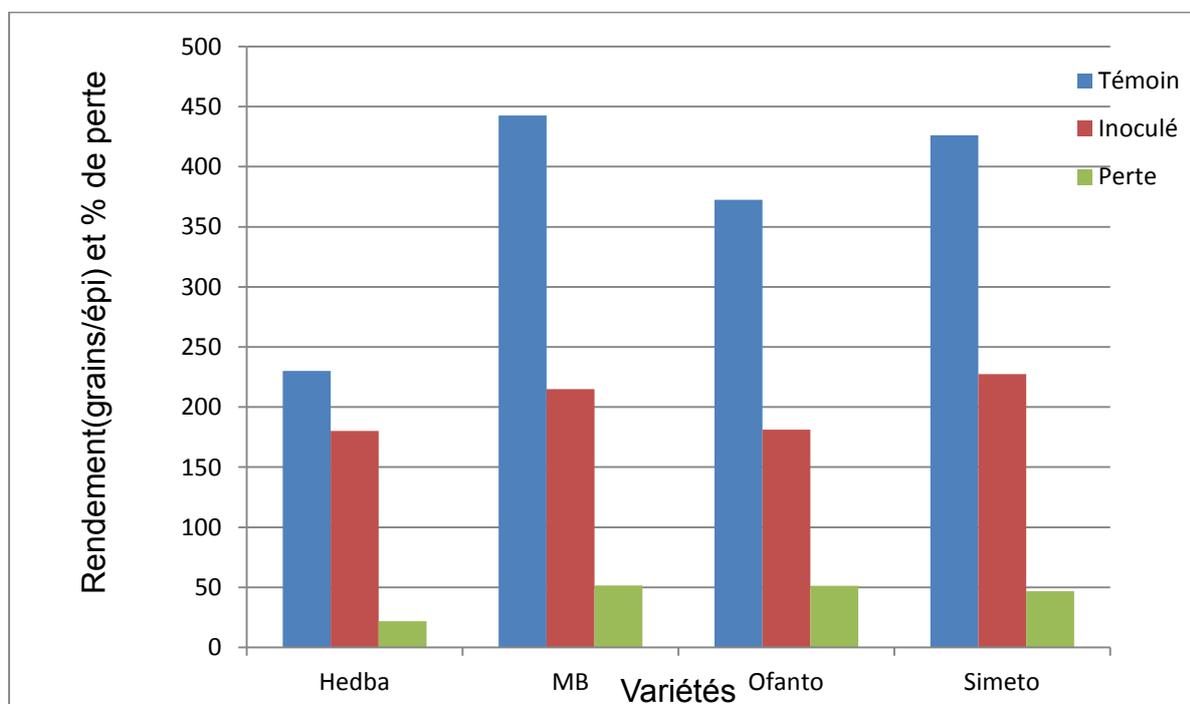


Figure 19. Rendement de blé en l'absence et en présence d'*Heterodera*, % de perte de rendement en 2^{ème} année.

L'effet du nématode est étudié dans un milieu stérilisé ; c'est-à-dire sans le complexe parasitaire existant dans un sol naturel. Les tests sont réalisés avec des blocs témoins et inoculés.

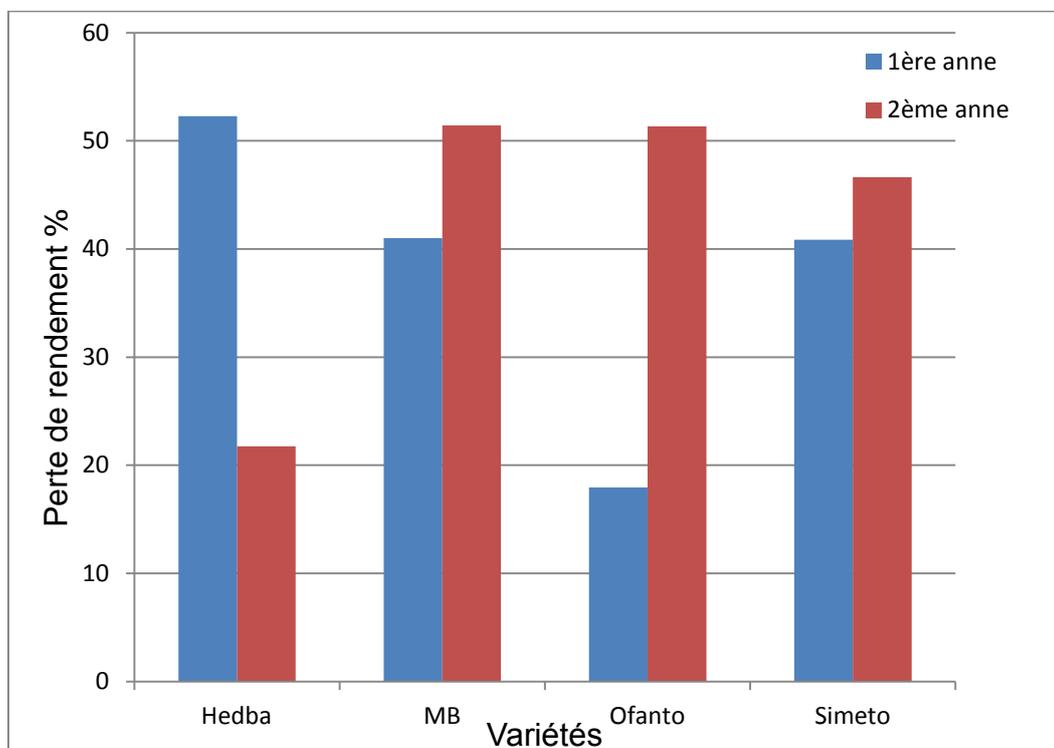


Figure 20. Perte de rendement des variétés testées causée par *H.avenae*

Nos résultats ont montré que la population de nématode inoculée *Heterodera avenae* a réduit le rendement des 4 variétés étudiées, à $P_i = 5,21$ Œufs et j_2 /g de sol (20 kystes /pot) et ce malgré l'obtention de beaucoup de résultats non significatifs sur les composantes de rendement. Les variétés Simeto et MB ont enregistré des pertes de rendement qui dépassent 40% pendant les 2 années de l'essai. Les pertes de rendement les plus faibles sont signalées en 1^{ère} année pour la variété Ofanto et pour Hedba3 en 2^{ème} année.

Nous avons signalé des pertes de rendement qui dépassent 50%, avec la variété Hedba3 avec 52,29%, les variétés Ofanto avec 51,34%, MB en 2^{ème} année avec 51,41 %.

IV.4. Discussion

Les variétés Hedba3 et Mohamed ben Bachir sont des variétés à paille haute et tardives Simeto et Ofanto sont des variétés courte ou semi-naine, semi-précoce, d'après Kirouani *et al.*, (2019) Les variétés hautes n'ont pas la capacité de fournir l'énergie et les assimilés nécessaires pour la formation des épis et l'élongation des talles au même temps. Aussi le déficit hydrique et le stress thermique en fin de cycle réduisent fortement, chez les variétés hautes, le nombre des épis, et influencent même leurs fertilités. La précocité représente un outil efficace qui aide le génotype à mieux se positionner devant tout un stress abiotique (Mekhlouf *et al.*, 2006). Sous des conditions de stress, les génotypes précoces évitent le déficit hydrique, les vents secs et les hautes températures de fin de cycle, tout en échappant au gel printanier tardif. De ce fait, la variété arrive à s'adapter et à tolérer les aléas climatiques (Dib *et al.*, 1992; Wardlaw et Moncur, 1995). Des recherches suggèrent que la hauteur de la paille élevée sera toujours accompagnée d'un rendement faible,

Notons que la longueur de la plante permet d'indiquer la richesse disponible en glucide au niveau des talles. Tandis que le PMG (poids de 1000 grains) permet d'indiquer le niveau de remplissage des grains de blé (Rharrabti *et al.*, 2003). Les composantes de rendement : nombre d'épi/plant et nombre de grains/épi sont des caractères adaptatifs qui peuvent être utilisés en sélection pour choisir les meilleurs gènes pour le rendement en grains.

La relation entre la reproduction de la population inoculée des nématodes, la croissance et le rendement de la plante hôte est un facteur très important dans la détermination de l'impact économique de ce nématode sur les variétés étudiées. Dans notre étude, la population initiale inoculée d'*H. avenae* était 5,21 J₂/g de sol.

L'analyse des résultats a montré une réduction non significative provoquée par *Heterodera avenae* des paramètres de croissance (Sauf pour la longueur de l'épi de Hedba3, Ofanto et Simeto en 1^{ère} année, Hedba3 en 2^{ème} année qui est une réduction significative.

Labdelli *et al.*, 2017, ont signalé que Ofanto est la variété la plus sensible concernant les paramètres de rendement par rapport aux autres variétés testées. Alors que Djetti T. (2019)

(non publié) a fait une étude similaire et a trouvé que *Heterodera avenae* a réduit significativement les paramètres morphologiques et de rendement des variétés Chen's, Bousselam, Vitron et Oued Znati.

D'autres enquêtes sont faites sur *H. latipons*, *H. avenae* et *H. filipjevi*, par Philis 1988; Al-Hazmi *et al.*, 1999; Scholz 2001; Hajihassani *et coll.* 2008 ont signalé des réductions significatives de paramètres de croissance et de composante de rendement de blé. Namouchi-Kachouri *et al.*, (2016) ont rapporté une réduction significative de PMG de blé en présence de nématode.

Toutes les variétés se sont montrées hôtes favorables pour le développement du nématode mais le taux de multiplication fluctue entre les variétés. La reproduction des *Heterodera avenae* sur les variétés testées confirme la viabilité des larves contenues dans les kystes inoculés et leurs capacités à se transformer en femelles dans les conditions favorables de reproduction des nématodes.

Nous avons révélé qu'*Heterodera avenae* s'est développée d'une manière faible sur les variétés Ofanto et Hedba3, ces dernières ont enregistré des pertes de rendement les plus faibles par rapport aux autres variétés. On peut dire que Hedba3 et Ofanto sont des variétés tolérantes aux nématodes *Heterodera avenae* par rapport aux autres variétés étudiées.

Heterodera avenae est largement développée sur Mohamed ben Bachir et Simeto. Ces variétés ont enregistré des pertes de rendement qui dépassent 40% durant les deux années de l'essai. Cette réduction en rendement peut être due au nématode qui s'est bien développé sur ces variétés, selon Delibes *et al.*, (1993), Les nématodes à kystes des céréales parasitent le système racinaire des plantes en provoquant des difficultés d'absorption d'eau et des nutriments du sol. Ils induisent des transformations racinaires importantes au niveau des tissus conducteurs (ils ont développé une stratégie parasitaire qui provoque des sévères dommages, empêchant dans certains cas toute culture économiquement viable. Les dégâts sont cependant difficilement déchiffrables en raison de nombreuses interactions les liants à d'autres pathogènes fongiques ou bactériens, favorisées par les lésions induites par l'entrée des nématodes (Djian-caporalino *et al.*, 2009).

Nous avons signalé des différences entre les pertes de rendement de la 1^{ère} et la 2^{ème} année de l'essai pour chaque variété. Les pertes de rendement dépassent les 50% des variétés sur lesquelles la multiplication des nématodes était faible. Cette réduction pourrait être due à l'interaction de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques dont le nématode est l'un des plus importants de ces facteurs. Selon Smiley *et al.*, (2013) même lorsque la reproduction est

empêchée ou supprimée, les juvéniles envahissent et endommagent généralement les racines des plantes résistantes, ce qui peut réduire le rendement.

D'après Simon (1980); Williams et Beane (1982), Rivoal et Cook (1993) l'impact des nématodes à kystes des céréales est très variable et dépend de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques, y compris le génotype de l'hôte, densité de population de nématodes, pathotype et écotype de nématode, type et fertilité de sol, présence d'autres nématodes ou pathogènes et des conditions climatiques de la région géographique.

Les résultats établis par l'échelle de Valocka *et al.*, (1994) témoignent nos résultats précédents. Toutes les variétés sont montrées favorables au développement de nématodes. En comparaison avec les autres variétés, nous avons constaté qu'Ofanto et Hedba3 sont des variétés tolérantes aux *H.aveane*.

La résistance variétale est un axe de recherche très important pour minimiser les dégâts des nématodes. Plusieurs études sont réalisées sur le comportement des variétés locales et importées vis à vis *Heterodera spp.* Hamroun (2006) a réalisé un essai sur le comportement variétal de six variétés de blé dur vis-à-vis d'*H. avenae*. Cette étude a montré que les variétés testées (Waha, Inrat 69, Oued Zenati, Bidi 17, Mohamed Ben Bachir et Hedba 03) sont des hôtes à différents niveaux de sensibilité vis-à-vis de ce parasite. Le nombre des kystes néoformés en fin de culture confirme que la variété de blé dur « Bidi 17 » est multiplicatrice. Labdelli 2017, a signalé que la variété Ofanto très fortement sensible aux nématodes à kystes des céréales. Djetti, 2019, a montré par son étude, que *Heterodera avenae* a réduit significativement le rendement en grains qui varie entre 20,28% pour la variété Chen's et 32,54% pour la variété de Vitron. Il a considéré que les variétés étudiées sont nettement plus sensibles aux attaques des nématodes.

À titre d'exemple de la relation entre la densité NKC et le rendement en grain, *H. filipjevi* en Iran a réduit le rendement du blé d'hiver pluvial à toutes les densités allant de 2,5 à 20 œufs plus J_{2s} / g de sol. Les densités les plus faibles et les plus élevées causant 11% et 48% de réduction du rendement (Hajihassani *et al.*, 2010b). Dans le nord-ouest des États-Unis, les rendements du blé pluvial sont généralement réduits lorsque le nombre d'œufs de *H. avenae* plus J_2 des kystes extraits, plus J_2 présents dans la matrice du sol, dépasse 3 / g de sol (Smiley, non publié). Des densités de cinq *H. avenae* ou *H. filipjevi* J_{2s} / g de sol sont susceptibles de causer des dommages économiques au blé irrigué en Inde (Singh *et al.* 2009). Andersen (1961) a signalé que le nombre de kystes de *H. avenae* produits sur l'orge est de 12, 24, 26 et 33 kystes / plante à des densités initiales de 1, 2,5, 5 et 10 œufs plus J_2 / g de sol.

Nos résultats sur les pertes de rendement causées par *Heterodera avenae* ne décrivent pas avec précision l'ampleur des pertes économiques sur le terrain ou au niveau régional ou national. En effet, la densité des nématodes varie considérablement dans la plupart des champs. Les estimations rapportées ne parviennent presque toujours pas à représenter les réductions de rendement à l'échelle du champ. Une relation précise entre le nombre de nématodes et la perte de rendement ou le seuil de nuisibilité est difficile à généraliser car les réponses du rendement sont fortement influencées par les interactions entre le climat, la variété, les pratiques de gestion, la distribution, la densité des nématodes dans le champ avec les produits chimiques et les propriétés biologiques et physiques du sol (Smiley *et al.*, 2017).

CONCLUSION GENERALE

Les recherches sur les nématodes phytoparasites dans le monde sont très complexes. Elles visent à mettre en évidence les bases d'identification des espèces, les infestations des parcelles pour une meilleure connaissance de la distribution géographique et leur pathogénicité sur les cultures. Sur la base de ces dernières, les mises au point sur les méthodes de lutte pour une gestion durable deviennent des objectifs essentiels pour réduire les pertes estimées à coût de milliards de dollars.

Notre thème de recherche sur les nématodes des céréales dans certaines régions de l'Algérie vise à mettre l'accent sur le groupe des Heterodera. En s'appuyant sur les bases de données déjà existantes, nous avons étudié les infestations des parcelles pour faire un constat des lieux sur la gravité de la situation. Nous avons essayé de compléter les travaux menés par différents auteurs sur les caractérisations biologiques et biochimiques des différentes espèces présentes en Algérie. En dernier lieu, l'étude de l'impact des densités de nématodes sur les composantes du rendement s'avèrent indispensable pour quantifier les pertes estimées sur la base de tests du nématode en question seul et sans aucun pathogène associé.

Nos enquêtes sur le terrain, l'étude de l'état d'infestation des parcelles de quelques régions céréalières par les nématodes à kystes des céréales du genre Heterodera a montré que, hormis la région de Boumerdes, toutes les zones prospectées sont infestées. Ce qui représente un taux de 92,58. Les degrés d'infestation varient d'une région à une autre voire même au sein de la même région. Nous avons mentionné que les parcelles prospectées de Tébessa sont infestées avec 0.8 kystes et 2 L₂ par 100 cm³ de sol (F.O = 33,33 %), en allant jusqu'à Oum Bouaghi où nous enregistrons 28,9 kystes avec 72,25 L₂ par 100 cm³ où F.O = 70 %. Nous avons signalé des taux d'infestation totaux à Relizane, Ain Defla, Guelma, Mila et Bouira (F.O = 100%).

Cette large fluctuation des infestations est la conséquence des pratiques culturales inadéquates qui permettent la pullulation de ce ravageur (Système de rotation, abondance des jachères non travaillées, absence de désherbage, variétés utilisées, dissémination par le vent, les instruments de travail du sol, la polyculture...etc).

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives et significatives entre les densités de population de nématodes exprimées en nombre de kystes / 100 cm³ de sol et en nombre de larves /cm³ de sol. Elles sont en fonction des

CONCLUSION GENERALE

régions étudiées et de leurs étages bioclimatiques. Les résultats obtenus confirment que les fluctuations des niveaux d'infestation sont intimement liés à l'interaction de nombreux facteurs tels que le climat, le système de rotation, les variétés cultivées, le type de sol, qui influencent les populations du complexe *Heterodera spp.*

Concernant la maîtrise de la connaissance et la caractérisation moléculaire du groupe des *Heterodera*, l'identification moléculaire de quelques population de nématodes a fourni de nouvelles informations sur la distribution et la fréquence d'occurrence d'*Heterodera avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae* et *H. cruciferae* dans les principales zones de culture du blé dans le nord de l'Algérie. Il ressort que *H. avenae* est plus répandu par rapport aux autres espèces. Toutefois, l'espèce *H. latipons* est considérée comme absente dans toutes les parcelles prospectées.

L'essai réalisé sur l'impact du nématode en question sans aucune interaction avec d'autres agents pathogènes sur quatre variétés de blé dur (*triticum durum*) vis-à-vis d'une population d'*Heterodera avenae* d'origine d'Ain Defla mené sur deux années consécutives est réalisé à la station horticole de l'ENSA. Enfin, le but est d'évaluer l'effet de ce nématode sur la croissance et le rendement des variétés de blé dur testées. Il a montré qu'*Heterodera avenae* est un agent pathogène nuisible à la culture de blé dur en Algérie plus particulièrement aux cultivars Mohamed ben Bachir et Simeto. Les autres variétés testées se sont montrées aussi hôtes favorable au développement du nématode *Heterodera avenae* d'une manière moins agressive ; il s'agit de Hedba3 et Ofanto. Les estimations des pertes de rendements sont d'une manière générale mise en évidence par rapport à la surface du pot et rapportées à une unité de surface d'un hectare. Elles révèlent que dans des conditions contrôlées, les populations de nématodes seules peuvent réduire les rendements de plus de cinq quintaux.

Perspectives

L'établissement d'une carte de distribution géographique des *Heterodera* devient une nécessité absolue. Les étendues des périmètres céréaliers de notre pays sont sous l'effet de plusieurs climats, types de sols, de conduite des cultures ainsi que les variétés utilisées. Cette distribution doit être actualisée avec des modèles de gestion statistiques pour mieux apprécier les degrés d'infestation afin de proposer un programme de lutte adéquat au cas par cas.

La résistance de l'hôte continue de jouer un rôle majeur dans le contrôle d' *H. avenae* et l'amélioration de la production de blé. Par conséquent, des connaissances détaillées de l'impact de *H. avenae* sur la croissance et la physiologie de la plante hôte aidera les sélectionneurs à développer des plantes résistantes et / ou cultivars tolérants. En outre, des informations supplémentaires sur le comportement d'éclosion et dynamique des populations de *H. avenae* sous différentes conditions climatiques sont nécessaires pour développer les pratiques de gestion optimales, qui devraient inclure les améliorations des plantes, d'utiliser tous les moyens agronomiques et pourquoi pas une lutte biologique.

L'interaction des *Heterodera* avec les autres pathogènes est nécessaire car ces derniers sont des vecteurs de beaucoup de maladies surtout les fusarioses. L'estimation des pertes ne pourra se faire que si ce genre de facteur est pris en considération.

Etude des nématodes à kystes des céréales du genre *Heterodera* dans les régions du nord de l'Algérie.
Essai de comportement de 4 variétés de blé dur vis-à-vis de ce nématode.

Résumé

Notre travail est orienté sur trois aspects essentiels ; l'enquête de terrain sur les infestations des *Heterodera*, l'identification moléculaire proprement dite des espèces présentes dans certaines régions du nord de l'Algérie et l'impact des populations d'*Heterodera avenae* sur les composantes de rendement de quatre variétés de blé dur.

L'analyse nématologique des 54 échantillons de sol prélevés à partir de 29 communes de 14 wilayas céréalières, révèle des infestations de 92.58% des régions prospectées. Le degré d'infestation varie d'une région à une autre voir même au sein de la même région. Seule la région de Boumerdes reste indemne de nématodes. Les NKC du genre *Heterodera* sont trouvés dans les trois groupes des zones prospectées avec une fréquence d'occurrence de 85 %. La densité la plus élevée de nématode est rencontrée dans les régions semi-aride (Ain Defla, Bouira, Sétif, Batna, Mila, Constantine, Oum Bouaghi et Tébessa) avec 98.4 kystes /100 cm³ de sol avec une moyenne fréquence d'occurrence de 88.57 %. Ces derniers sont quantifiés dans les régions arides (Relizane et Bordj Bouariridj) avec une densité moyenne de 17.7 kystes /100 cm³ et 11.06 larves /cm³ de sol. Ce qui représente 75 % des parcelles infestées. Par ailleurs, la plus faible abondance du nématode est signalée dans les échantillons du groupe subhumide (Souk Ahras, Alger, Guelma).avec 15.2 kystes /100 cm³ et fréquence d'occurrence de 73.33 %. Ces densités sont considérées élevées qui deviennent de plus menaçantes pour les cultures.

L'identification moléculaire à l'aide de la technique PCR (Polymerase chaine reaction) de vingt populations des NKC prélevées à partir des zones céréalières au nord de l'Algérie, a montré que toutes les populations sont classées en *H. avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae* et *H. cruciferae* en fonction du résultat du séquençage. Dix populations de kystes prélevées à Oum Bouaghi, Ain Melila 1, Ain Melila2 et Ain Melila3, Seriana, Ain Bessem, El Yachir, Bordj Khaled, Guelma b et Merahna sont identifiés comme étant *Heterodera hordecalis*. L'espèce *Heterodera avenae* est signalée dans cinq champs de Constantine, El Asnem, Oued Smar, Hammem Sokhna1 et Hammem Sokhna2. Ajoutons à cela que *H. carotae*, *H. cruciferae* signalée pour la première fois en Algérie. Elle est découverte dans les sites de Tadjenanet 2 et Merahna, tandis que *H. crucifera* a été trouvé dans les sites de Meskiana, Khmiss Meliana et Relizane.

Concernant l'impact des populations de *H. avenae* originaire d'Ain Defla, sur le comportement de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum*), l'essai est mené à la station horticole de l'ENSA. Plusieurs paramètres sont pris en considération à savoir; la croissance, le rendement et le taux de multiplication.

Les résultats font mention d'une sensibilité variable des variétés testées. Elles sont considérées comme hôtes favorables au développement d'*H. avenae*. Cette dernière s'est développé d'une manière notable sur Mohamed ben Bachir et Simeto. Elles ont enregistré des pertes de rendement supérieur à 40% durant les deux années de l'essai. Nous avons constaté que Hedba3 et Ofanto sont les variétés les plus tolérantes aux nématodes.

Mots clés : Céréales, *Heterodera*, infestation, PCR, variétés, Mohamed ben Bachir, Hedba3, Ofanto et Simeto, rendement.

Study of cereal cyst nematodes of the genus *Heterodera* in the provinces of northern Algeria. Behavior test of 4 varieties of durum wheat against this nematode.

Abstract

Our work is oriented on three essential aspects; the field survey on *Heterodera* infestations, the molecular identification of the species present in certain provinces of northern Algeria and the impact of *Heterodera avenae* populations on the yield components of four varieties of durum wheat .

Nematological analysis of 54 soil samples taken from 29 communes in 14 cereal wilayas revealed infestations in 92.58% of the provinces surveyed. The degree of infestation varies from region to region or even within the same region. Only Boumerdes remains not infested by nematodes. CCN of the genus *Heterodera* are found in all three groups of surveyed areas with a frequency of occurrence of 85%. The highest density of nematode is found in semi-arid regions (Ain Defla, Bouira, Sétif, Batna, Mila, Constantine, Oum Bouaghi and Tébessa) with 98.4 cysts / 100 cm³ of soil with an average frequency of occurrence of 88.57%. These are quantified in arid provinces (Relizane and Bordj Bouariridj) with an average density of 17.7 cysts / 100cm³ and 11.06 larvae / cm³ of soil. This represents 75% of the infested plots. In addition, the lowest abundance of the nematode is reported in samples from the subhumid group (Souk Ahras, Algiers, Guelma) with 15.2 cysts / 100 cm³ and frequency of occurrence of 73.33%. These densities are considered high which become more threatening for crops.

The molecular identification using the PCR (Polymerase chain reaction) technique of twenty populations of NKC's sampled from cereal areas in northern Algeria showed that all the populations are classified as *H. avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae* and *H. cruciferae* depending on the result of the sequencing. Ten populations of cysts collected from Oum Bouaghi, Ain Melila 1, Ain Melila2 and Ain Melila3, Seriana, Ain Bessem, El Yachir, Bordj Khaled, Guelma b and Merahna are identified as *Heterodera hordecalis*. The species *Heterodera avenae* is reported from five fields in Constantine, El Asnem, Oued Smar, Hammem Sokhna1 and Hammem Sokhna2. Let us add to this that *H. carotae*, *H. cruciferae* reported for the first time in Algeria. It is found in the sites of Tadjenanet 2 and Merahna, while *H. crucifera* has been found in the sites of Meskiana, Khmiss Meliana and Relizane.

Regarding the impact of populations of *H. avenae*, native to Ain Defla, on the behavior of four varieties of durum wheat (*Triticum durum*) the trial is being carried out at the ENSA horticultural station. Several parameters are taken into consideration namely; growth, yield and multiplication rate. The results indicate varying sensitivity of the varieties tested. They are considered to be favorable hosts for the development of *H. avenae*. The latter developed in a notable way on Mohamed ben Bachir and Simeto. They recorded yield losses of over 40% during the two years of the trial. We have found that Hedba and Ofanto are the most nematode tolerant varieties.

Key words: Cereals, *Heterodera*, infestation, PCR, varieties, Mohamed ben Bachir, Hedba3, Ofanto and Simeto, yield.

دراسة نيماتودا كيس الحبوب من جنس *Heterodera* في مناطق شمال الجزائر. اختبار سلوك اربعة اصناف من القمح الصلب مقابل هذه الديدان الخيطية

ملخص

ترتكز دراستنا على ثلاث جوانب اساسية : دراسة ميدانية حول تفشي الديدان الخيطية من جنس *Heterodera*, التعريف الجيني للأنواع الموجودة في مناطق معينة من شمال الجزائر و تأثير عشائر *Heterodera avenae* على مكونات محصول اربعة انواع من القمح الصلب.

اظهرت دراسة تحليل 54 عينة تربة مأخوذة من 29 بلدية منتمية الى 14 ولاية منتجة للحبوب، اصابة 92.58% من المناطق التي تمت دراستها حيث تختلف درجة الاصابة من منطقة الى اخرى او حتى داخل نفس المنطقة، سجلنا غياب النيماتودا كليا في ولاية بومرداس. تم العثور على النيماتودا NKC من جنس *Heterodera* في جميع المجموعات الثلاث من المناطق التي تم مسحها مع تكرار قدره 85%. توجد أعلى كثافة للديدان الخيطية في المناطق شبه القاحلة (عين الدفلة، البويرة، سطيف، باتنة، ميلا، قسنطينة، أم بواقي، تبسة) بنسبة 98.4 كيس / 100 سم³ من التربة بمتوسط تكرار يقدر ب 88.57%. وقد تم تقدير الكمية الأخيرة في المناطق القاحلة (غليزان و برج بوعريريج) بمتوسط كثافة 17.7 كيس / 100 سم³ و 11.06 يرقة / سم³ من التربة. وهذا يمثل 75% من الأراضي الموبوءة. بالإضافة إلى ذلك تم تسجيل أقل نسبة من النيماتودا في عينات من المجموعة شبه الرطبة (سوق أهراس، الجزائر العاصمة، قالمة) مع 15.2 كيس / 100 سم³ وتواتر حدوث 73.33%. تعتبر هذه الكثافات عالية وسوف تصبح أكثر تهديداً للمحاصيل.

أظهر التحديد الجيني باستخدام تقنية PCR (تفاعل البوليميراز المتسلسل) لعشرين مجموعة من NKC المأخوذة من مناطق الحبوب في شمال الجزائر، أن جميع المجموعات مصنفة على أنها *H. crucifera* و *H. hordecalis* *H. carotae*, *H. avenae*

تم تحديد عشر مجموعات من الديدان الخيطية التي تم جمعها نتيجة Séquençage من أم بواقي، عين مليلة 1، عين مليلة 2، عين مليلة 3، سريانة، عين بسام، الياشر، و برج خالد، وقالمة ب، ومرانة على أنها *Heterodera hordecalis*، تم تسجيل *Heterodera avenae* في خمسة مناطق: قسنطينة، الإصنام، وادي السمار، حمام السخنة 1 و حمام السخنة 2، بالإضافة الى تسجيل *H. carotae* اول مرة في الجزائر في كل من مسكاته، خميس مليانة و غليزان.

فيما يتعلق بتأثير عشائر *H. avenae* على سلوك اربعة أنواع من القمح القاسي (*Triticum durum*)، اجريت التجربة في المساحة المخصصة للتجارب الميدانية الواقعة في ENSA، الحراش، حيث تم الاخذ بعين الاعتبار العديد من الخصائص: النمو، المحصول و تكاثر النيماتودا.

تشير النتائج إلى ان كل الاصناف التي تم اختبارها حساسة للديدان الخيطية *Heterodera avenae* و تطور الأخير بشكل ملحوظ على الصنف MB و Simeto. حيث سجلوا خسائر في الغلة تزيد عن 40% خلال عامان من التجربة. لقد وجدنا أن Hedba3 و Ofanto هما أكثر الأصناف مقاومة للديدان الخيطية.

الكلمات المفتاحية: الحبوب، *Heterodera*، الإصابة، PCR، الأصناف، محمد بن بشير، Hedba3، Ofanto و Simeto

Tableau 1 : Les nématodes à kyste et leur majeure importance économique (Subbotin *et al.*, 2010 citer par Perry et Moens, 2013).

Genre	Espèces	Plante hôte	Région
<i>Heterodera</i>	<i>H. avenae</i>	Blé, orge, avoine, maïs	Tempéré
	<i>H. filipjevi</i>	Blé, orge, avoine, maïs	Tempéré
	<i>H. cajani</i>	Cornille, pois, haricot Phaseolus, pois d'Angole, sésame, soja, maïs doux	Tropical
	<i>H. cruciferae</i>	Chou de Bruxelles, brocoli, chou, chou-fleur, radis, chou-rave, pois, viol	Tempéré
	<i>H. glycines</i>	Fève d'Adzuki, fève, haricot vert, haricot, haricot mite, haricot mungo, haricot bleu marine, haricot de riz, haricot mange-tout, soja, niébé, sésame, lupin blanc, lupin jaune	Tempéré
	<i>H. goettingiana</i>	Fève, pois chiche, lentille, pois, lupin blanc, lupin jaune, trèfle blanc	Tempéré
	<i>H. latipons</i>	Orge, avoine, seigle	Tempéré
	<i>H. oryzicola</i>	Riz, banane et banane plantain	Tropical
	<i>H. sacchari</i>	Riz, canne à sucre	Tropical
	<i>H. schachtii</i>	Fève d'adzuki, betterave, brocoli, chou de Bruxelles, chou, chou-fleur, céleri, pois chiche, chicorée, Chou chinois, niébé, aneth, chou frisé, chou-rave, lentille, pois, radis, colza, rhubarbe, rutabaga, épinards, tomate, navet, lupin jaune	Tempéré
	<i>H. sorghi</i>	Sorgho, maïs, riz	Tropical
	<i>H. trifolii</i>	Oeillet, pois chiche, concombre, cornichon, pois, citrouille, trèfle rouge, rhubarbe, épinard, courge, tomate, trèfle blanc, lupin blanc, courgette	Tempéré
	<i>H. zaeae</i>	Maïs, orge, riz, sorgho, blé	Tropical

Tableau 2: Principales sources de gènes utilisés dans *Triticum aestivum* pour la résistance au NKC *Heterodera avenae* (d'après Smiley et Nicol, 2009)).

Cereal species	Genotype	Resistance gene and location	Use in cultivars
<i>T. aestivum</i>	Loros, AUS10894	<i>Cre1</i> (formerly <i>Ccn1</i>) on chromosome 2BL	NW Europe, Australia, NW USA
	Katyil	<i>Con</i>	Australia
	Festiguay	<i>Cre8</i> (formerly <i>CreF</i>) on chromosome 7L or 6B	Australia
	AUS4930 = Iraq48	Possible identical genetic location as <i>Cre1</i> : also resistant to <i>P. thornei</i>	Under evaluation in Australia, France and CIMMYT
	Molineux	Chromosome 1B	Australia
	Raj MR1	One dominant gene	Released cv. in India
<i>T. durum</i>	Psathias 7654, 7655	Not known	Not known
<i>Triticosecale</i>	T701-4-6	<i>CreR</i> on chromosome 6RL	Australia
	Drira	Not known	Australia
	Ningadhu		
	Tahara	Not known	Not known
	Salvo	Not known	UK
<i>Secale cereale</i>	R173 family	<i>CreR</i> on chromosome 6RL	Australia
<i>Aegilops tauschii</i>	CPI 110813	<i>Cre4</i> on chromosome 2DL	Australian synthetic hexaploid lines
	AUS 18913	<i>Cre3</i> on chromosome 2DL	Australian advanced breeding lines
<i>A. peregrine</i>	1	<i>Cre</i> (3S) with <i>Rkn2</i> on chromosome 3S, <i>CRX</i> not yet located	Not known
<i>A. longissima</i>	18	Not known	France
<i>A. geniculata</i>	79, MZ1, MZ61, MZ77, MZ124	Not known	France
<i>A. triuancialis</i>	TR-353	<i>Cre7</i> (formerly <i>CreA</i> et)	France
<i>A. ventricosa</i>	VPM 1	<i>Cre5</i> (formerly <i>CreX</i>) on chromosome 2AS <i>Cre2</i> (formerly <i>CreX</i>) on genome N	Spain

Tableau 3 : Pluviométrie (mm) et Températures (C°) de la campagne agricole 2017-2018.

Mois	Pluviométrie (mm)	Températures (°C)		
		T° Min. (°C)	T° Max. (°C)	T° Moyenne
Septembre	35	16,7	30,3	23,5
Octobre	17	11,9	26,9	19,4
Novembre	128	7,9	21,4	14,65
Décembre	133	6,2	16,9	11,55
Janvier	30	6,2	18,4	12,3
Février	64	5,3	16	10,65
Mars	118	9,4	19,3	14,35
Avril	104	10,6	21,9	16,25
Mai	55	12,1	22,7	17,4
Juin	31	22	25	22,8
Totaux	715	106,9	218,8	162,85

(Source : ONM, 2018)

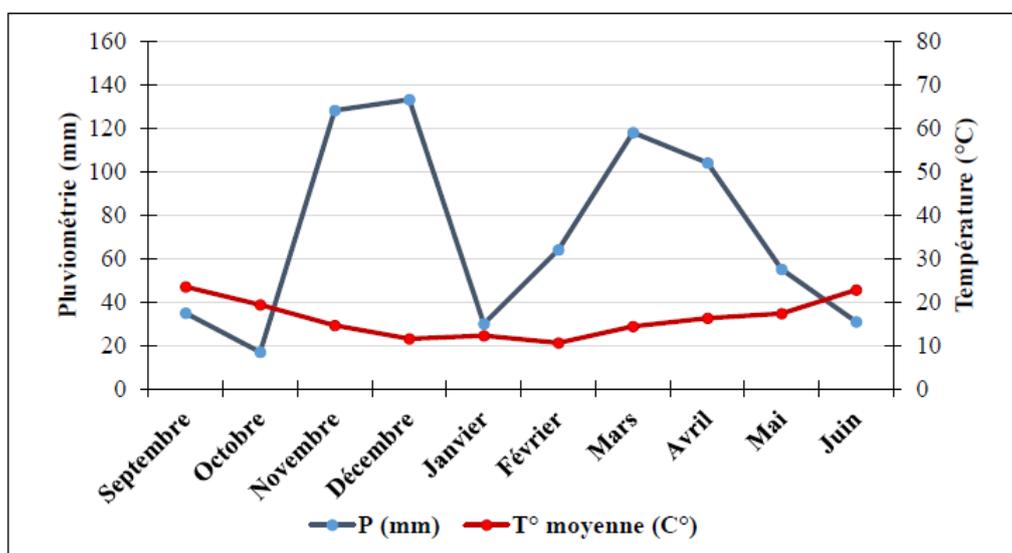


Figure 1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson 2017/2018.

D'après le diagramme ombrothermique une période humide s'étale de mi-October jusqu' au mois de Mai, le pic a été enregistré pendant le mois de Décembre avec **133 mm**. Le mois d'Avril a enregistré une pluviométrie assez abondante **108 mm** qui a

coïncidé avec deux stades importants, épiaison-floraison et remplissage du grain ce qui a eu un effet positif sur le nombre de grains et le poids du grain. Une courte période de sécheresse est apparue au mois de Juin coïncidant avec le stade maturation. La gamme des températures varie de **10,65°C**, pour le mois de Février qui correspond au mois le plus froid, à **23,5°C** en Septembre correspond au mois le plus chaud, soit une amplitude thermique de **12,85°C**.

Tableau 1 : Températures moyennes et extrêmes durant la campagne 2016/2017.

Mois	T°moyenne (C°)	T°max extrême (C°)	T°max moyenne (C°)	T°min extrême (C°)	T°min moyenne (C°)
Septembre	24,8	37,7	26,9	17,9	22,7
Octobre	23,9	36,8	26,1	17,9	21,8
Novembre	18,9	32,8	21,4	10,3	16,5
Décembre	16,1	20,8	17,8	12,7	14,3
Janvier	13,4	22,3	15,6	4,8	11,2
Février	16,2	23,6	18,3	9,4	14,2
Mars	17,2	26,1	19,9	8,8	14,3
Avril	17,8	27,9	19,8	12,5	15,7
Mai	20,5	30,6	22,6	15,6	18,5
Juin	24	34,8	26	18,9	21,9

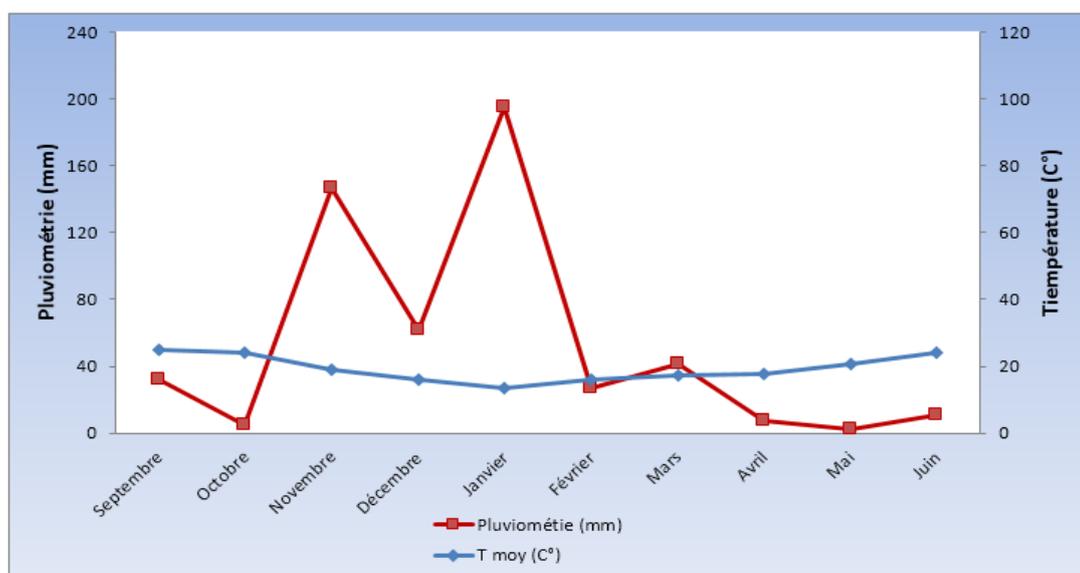


Figure 2: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен 2016/2017.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la campagne agricole 2016/2017, représenté dans la figure 2, montre que la période humide commence de la mi-octobre jusqu'au début du mois de février où les températures sont basses et la pluviométrie importante ce qui était favorable à notre culture durant ses premiers stades. Une courte période de sécheresse est survenue en février jusqu'au début du mois de mars, puis la période humide a repris jusqu'à la fin de ce dernier. La période sèche a commencé à la fin du mois de mars et a continué jusqu'à la fin de la campagne entravant ainsi une bonne alimentation en eau de la culture durant les stades les plus importants (épiaison-floraison et remplissage du grain).

Caractéristiques variétales et morphologiques de quatre variétés de blé prospectées (CNCC, Alger) :

Mohammed ben Bachir

Origine : Algérie

Obteneur : ITGC Sétif

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 1998

Caractérisation sur épi sec

Barbes

Distribution des barbes : Sur toute la longueur

Longueur par rapport à l'épi : Plus longues

Couleur : Noire

Epi

Longueur à l'exclusion des barbes : Moyen

Pilosité du bord du 1^{er} article du rachis : Forte

Couleur (maturité) : Faiblement coloré

Paille

Moelle en section transversale : Epaisse

Caractéristiques agronomiques

Rendement : Elevé

PMG : Elevé

Résistance aux maladies

Oïdium sur feuille : Résistante

Oïdium sur épi : Résistante

Rouille brune : Résistante

Septoriose : Moyennement sensible

Ofanto

Origine : Italie

Obteneur : IAO ITALIO

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 2004

Caractérisation sur épi sec

Barbes

Distribution des barbes : Sur toute la longueur

Longueur par rapport à l'épi : Plus longues

Couleur : Noire

Epi

Longueur à l'exclusion des barbes : Court

Pilosité du bord du 1^{er} article du rachis : Moyenne

Couleur (maturité) : Blanc

Paille

Moelle en section transversale : Peu épaisse

Caractéristiques agronomiques

Rendement : Elevé

PMG : Moyen

Résistance aux maladies

Oïdium sur feuille : Moyennement sensible

Oïdium sur épi : Résistante

Rouille brune : Moyennement sensible

Septoriose : Moyennement sensible

Simeto

Origine : Italie

Obteneur : IAO ITALIO

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 1998

Caractérisation sur épi sec

Barbes

Distribution des barbes : Sur toute la longueur

Longueur par rapport à l'épi : Plus longues

Couleur : Noire

Epi

Longueur à l'exclusion des barbes : Court

Pilosité du bord du 1^{er} article du rachis : Nulle ou très faible

Couleur (maturité) : Blanc

Paille

Moelle en section transversale : Peu épaisse

Caractéristiques agronomiques

Rendement : Elevé

PMG : Moyen

Résistance aux maladies

Oïdium sur feuille : Moyennement sensible

Oïdium sur épi : Résistante

Rouille brune : Moyennement sensible

Septoriose : Moyennement sensible

Hedba 3

Origine : Algérie

Obteneur : ITGC El Khroub

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 1998

Caractérisation sur épi sec

Barbes

Distribution des barbes : Sur toute la longueur

Longueur par rapport à l'épi : plus longues

Couleur : Noire

Epi

Longueur à l'exclusion des barbes : Long

Pilosité du bord du 1^{er} article du rachis : Nulle ou très faible

Couleur (maturité) : Blanc

Paille

Moelle en section transversale : Peu épaisse

Caractéristiques agronomiques

Rendement : Elevé

PMG : Moyen

Résistance aux maladies

Oïdium sur feuille : Résistante

Oïdium sur épi : Résistante

Rouille brune : Résistante

Septoriose : Résistante

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abidou, H, El-Ahmed, A., Nicol, J.M., Bolat, N., Rivoal, R. et Yahyaoui, a. 2005 a.** Présence et répartition des espèces du groupe *Heterodera avenae* en Syrie et en Turquie. *Nematologia Mediterranea* 33, pp.195–201.
2. **Abidou, H., Valetten, S., Gauthier, P., Rivoal, R., El-Ahmed, A., Et Yahyaoui, A. 2005b.** Polymorphisme moléculaire et morphométrie des espèces du groupe *Heterodera avenae* en Syrie et en Turquie. *Journal of Nematology*, 37, pp. 146–154.
3. **Al-Abed, A., Al-Momany, A. et Al-Banna, L. 2009.** Etudes épidémiologiques sur le nématode à kyste des céréales de la Méditerranée, *Heterodera latipons*, attaquant l'orge en Jordanie. Dans: Riley, I.T., Nicol, J.M. et Dababat, A.A. (Eds). *Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives*. CIMMYT: Ankara, Turquie, pp. 183–188.
4. **Alexandratos, N. et Bruinsma, J. 2012.** L'agriculture mondiale à l'horizon 2030/2050: la révision de 2012. Document de travail ESA n ° 12-03. FAO, Division de l'économie du développement agricole.
5. **Al-Hazmi, A. S., Al-Yahya, F. A., et Abdul-Razig, A. T. 1999.** Damage and reproduction potentials of *Heterodera avenae* on wheat under outdoor conditions. *Journal of Nematology*, 31(4S), pp.662.
6. **Al-Rehiyani, S. M., Belal, M., et al., 2009.** Effet de la solarisation sur *Heterodera avenae* et le rendement du blé à Al-Qassim, Arabie Saoudite. In: *Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives*. Actes du premier atelier de l'Initiative internationale sur le nématode à kyste des céréales, Antalya, Turquie, 21-23 octobre 2009. Centre international d'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT), 2009. pp. 233-236.
7. **Ambrogioni, L. 1969.** Deux cas d'infections mixtes par des nématodes des genres *Heterodera* et *Meloidogyne*. *Redia*, 51 ans, pp. 159-168.
8. **Andersson, S. 1973.** Un nouveau nématode à kyste probable sur les céréales. *Avis de protection des végétaux* 37, pp. 74–76.

9. **Andersson, S.1974.** *Heterodera hordecalis* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) un nématode à kyste des céréales et des graminées dans le sud de la Suède. *Nematologica* 20, pp. 445–454.
10. **Anon, A. 1971.** Estimation des pertes de récoltes dues aux nématodes parasites des plantes aux États-Unis. *Society of Nematol Spec Publ*, 1, 7.
11. **Anon ,2005.** *Heterodera latipons*. Cartes de répartition des maladies des plantes. Carte d'octobre (édition 1) 960. Wallingford, Royaume-Uni, CAB International.
12. **Assia, Fatiha Righi, Righi, Kada, Boungab, Karima, Et Al. , 2019.** Etude de l'infestation des céréales par les nématodes à kyste «*Heterodera spp.*» et distribution des espèces en cause dans l'Ouest de l'Algérie. *Cahiers Agricultures*, 2019, vol. 28, p. 17.
13. **Aubert.V, 1986.** Biologie du nématode *Heterodera carotae* de la carotte. Seconde partie: Etude des modalités d'éclosion chez les larves contaminantes. *Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture*, 1986, vol. 18, no 1, pp. 25-31.
14. **Baklawa, M., B. Niere, H. Heuer et S. Massoud. 2015.** Caractérisation des nématodes à kystes des céréales en Egypte sur la base d'analyses morphométriques, RFLP et ADNr-ITS. *Nematology* 17: pp. 103-115.
15. **Balakhnina, V.P. 1989.** Résistance des variétés de *Triticum durum* Desf. et *Triticum aestivum* L. au nématode à kyste de l'avoine. *Gelmintologiya Segonya: Perspectivité des problèmes. Résumés de conférences scientifiques*, 4–6 avril, Moscou, URSS, pp. 36–37.
16. **Bansal, R.K., Dahiya, R.S., Lakshminarayana, K., Suneja, S., Anand, R.C. et Narula, N. 1999.** Effet des bactéries rhizosphériques sur la croissance des plantes de blé infecté par *Heterodera avenae*. *Nematologica Mediterranea* 27, pp. 311–314.
17. **Banyer, R. et Fisher, J.M. 1971.** Effet de la température sur l'éclosion des œufs d'*Heterodera avenae*. *Nematologica* 17, pp. 519–534.
18. **Barloy, D., Martin, J., Rivoal, R. et Jahier, J. 1996.** Caractérisation génétique et moléculaire de lignées de blé résistantes au nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae*. *Nematropica* 26, 240.p.
19. **Bastian, H. C. 1865.** Monographie des Anguillulidae, ou nématoides libres, marins, terrestres et d'eau douce; avec des descriptions de 100 nouvelles espèces.

Les transactions de la société linnéenne de Londres. Volume XXV, partie II, pp. 73–184.

20. **Bekal, S., Gauthier, J.P. et Rivoal, R. 1997.** Diversité génétique parmi un complexe de nématodes à kystes des céréales déduite de l'analyse RFLP de la région d'espace transcrit interne ribosomale. *Genome* 40, pp. 479–486.
21. **Belaid D., 1990.** Eléments de Phytotechnie générale. Ed. O.P.U, Alger, pp.154-156.
22. **Ben, 2008.** Les Indices climatiques et leurs significations écologiques en Algérie orientale. Centre Université Constantine.
23. **Bennoui, O., 1996.** Contribution à l'étude morphologique et biologique de quelques espèces de nématode à kystes inféodées aux grandes cultures dans la région de Sétif. Thèse, Ing., Agro., INA El-harrache Alger. 70p.
24. **Berney, M. F. et G. W. Bird. 1992.** Distribution de *Heterodera carotae* et *Meloidogyne hapla* dans la production de carottes du Michigan. *Journal of Nematology* 24: pp. 776-778.
25. **Bishnoi, S. P., et Bajaj, H. K. 2002.** Response of resistant barley cultivars to the Indian populations of *Heterodera avenae* complex. *Indian Journal of Nematology*, 32(2),pp. 125-128.
26. **Bonfil, D.J., Dolgin, B., Mufradi, I. et Asido, S. 2004.** Essai biologique pour prévoir les dommages causés par les nématodes à kystes des céréales au blé dans les champs. *Precision Agriculture* 5, pp. 329–344
27. **Bonjean AP, Angus WJ, Ginkel M, Van, 2016.** The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding; Paris: Lav, Vol 3.
28. **Bossis, M. et Rivoal, R. 1996.** La variabilité des protéines chez les nématodes à kystes des céréales de différentes régions géographiques est évaluée par électrophorèse sur gel bidimensionnelle. *Nématologie fondamentale et appliquée* 19, pp. 25–34.
29. **Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. et Rezgui S., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176p.
30. **Boulanouar A., 2008.** Etude de l'incidence des rotations culturales sur l'évolution des densités de nématodes Globodera et Heterodera à Mekhatria (Ain Defla). *Mém. Ing. agro., Inst. nati. agro. El Harrach*, 67p.

31. **Bourdon, P. et Rivoal, R. 2005.** Sélection du ray-grass d'Italie pour la résistance au nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*). *Fourrages*, 18 : pp : 557-566.
32. **Bovey R., 1974.** La défense des plantes cultivées. Ed. la maison rustique, Paris, 863p.
33. **Breiman, A. et Graur, D. 1995.** Évolution du blé. *Journal d'Israël des sciences végétales* 43, pp. 85–98.
34. **Brown, R.A. 1981.** Maladies des nématodes. In: Importance économique et biologie des maladies des racines des céréales en Australie. Rapport au sous-comité de phytopathologie du Comité permanent de l'agriculture.
35. **Brown R.H., 1984 a.** Ecology and Control of Cereal Kyst Nematode (*Heterodera avenae*) in Southern Australia, *Journal of Nematology*, 16 (3): pp. 216-222.
36. **Brown, R. H. 1984b.** Le nématode à kyste des céréales et son contrôle chimique en Australie. *Plant Disease* 68: pp. 922-928.
37. **CABI. 2015.** *Heterodera carotae*. Dans: *Invasive Species Compendium*. CAB International, Wallingford, Royaume-Uni En ligne: www.cabi.org/isc .
38. **Castillo, P. et Vovlas, N. 2007.** *Pratylenchus* (Nematoda, Pratylenchidae): Diagnostic, biologie, pathogénicité et gestion. *Nematology Monographs and Perspectives* 6, 529 pp. Brill Leiden-Boston, The Netherlands-USA.
39. **Caubel G., Person-Dedryver F. et Rivoal R., 1980.** Les nématodes dans les rotations céréalières. *Persp. Agric.*, N ° 36, Paris : pp.31-48.
40. **Cayrol, J. C. 1975.** Etudes préliminaires sur les relations entre nématodes libres et bactéries dans le sol.
41. **Chen, P.S., Wang, M.Z. Et Peng, D.L. 1989.** Rapport préliminaire d'identification du nématode à kyste des céréales du blé en Chine. *Scientia Agricultural Sinica* , pp.24, 89.
42. **Chitwood, David J. 2002.** "Stratégies basées sur la phytochimie pour le contrôle des nématodes." *Revue annuelle de phytopathologie* 40.1 (2002): pp. 221-249.
43. **Chizhov, V. N., M. V. Pridannikov, L. V. Nasonova et S. A. Subbotin. 2009.** *Heterodera cruciferae* Franklin, 1945, un parasite de *Brassica oleraceae* L. provenant de champs d'inondation dans la région de Moscou, Russie. *Journal russe de nématologie* 17 (2): pp. 107-113.
44. **Clement –Grandcourt M. Et Prats J., 1971.** Les céréales .Baillièere et fils, Paris-France, 351p.

45. **Cook, R. et Noel, G.R. 2002.** Nématodes à kystes: espèces Globodera et Heterodera. Dans: Starr, J.L., Cook, R. & Bridge, J. (Eds). Résistance des plantes aux nématodes parasites. Wallingford, Royaume-Uni, CABI Publishing, pp. 71–105.
46. **Cook, R. et Yeates, G.W. 1993.** Nématodes ravageurs des prairies et des cultures fourragères. Chapitre 8 dans Nématodes parasites des plantes en agriculture tempérée. Edité par K. Evans, D.L, Trudgill et J.M Webster. Cab International, Wallingford, pp.305-350.
47. **Coomans, A. 1989.** Vue d'ensemble de la nématofaune vivant en liberté en Belgique. Actes du colloque «Invertébrés de Belgique», Bruxelles, Belgique K.B.I.N., 25-26 novembre 1988. Institut royal des sciences naturelles de Belgique, pp. 43–56.
48. **Dababat, A.A., Imren, M., Erginbas-Orakci, G., Ashrafi, S., Yavuzaslanoglu, E., Toktay, H., Pariyar, S.R., Elekçioğlu, I.H., Morgounov, A.I. Et Mekete, T. 2014.** L'importance et les stratégies de gestion des nématodes à kystes des céréales, *Heterodera spp.*, En Turquie. Euphytica 202, pp. 173–188.
49. **Dababat, A.A., Muminjanov, H. et Smiley, R.W. 2015.** Nématodes des céréales à petits grains: état actuel et recherche. Ankara, Turquie, FAO.
50. **Dababat, A.A., Pariyar, S., Nicol, J. et Duveiller, E. 2011.** Nématode à kyste des céréales: une menace inaperçue pour la production céréalière mondiale. CGIAR SP-IPM Technical Innovation Brief 11.
51. **Damadzadeh, M. et Ansaripour, B. 2001.** Identification et distribution d'*Heterodera filipjevi* dans la région d'Ispahan en Iran. Journal russe de nématologie 9, pp. 57–58.
52. **Davidson, J. 1930.** Anguille (*Heterodera schachtii* Schm.) Affectant les céréales en Australie méridionale. Journal du ministère de l'Agriculture, Australie du Sud 34, pp. 578–385.
53. **Davies, K.G., Flynn, C.A., Laird, V. et Kerry, B.R. 1990.** Le cycle de vie, la dynamique des populations et la spécificité de l'hôte d'un parasite de *Heterodera avenae*, similaire à *Pasteuria penetrans*. Revue Nématologie 13, pp. 303–309.
54. **Dawabah, A. A. M., Al-Hazmi, Ahmad S., et Al-Yahya, Fahad A.2015.** Gestion du nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) dans une

- production de blé à grande échelle. nématodes des céréales à petits grains, 2015, p. 277.
55. **Delanoue, P. 1953.** L'anguillulose des céréales. Moyens susceptibles d'en limiter les dégâts en Tunisie. *La Tunisie Agricole*, 23, p.
 56. **Delibes A., Romero D., Aguaded S., Duce A., Mena M., Lopez-Brana I., Andres M.F., Martin-Sanchez J.A. et Gacia-Olmedo F., 1993.** Résistance au kyste-nématode des céréales (*Heterodera avenae* Woll.) transféré de l'herbe sauvage *Aegilopos ventricosa* au blé hexploïde par la procédure de tremplin. *Theor. appli.Genet.*, N ° 87, pp. 402-408.
 57. **Dib TA, Monneveux P, Araus J, Dib TA, Monneveux P, Araus J, Dib, TA. 1992.** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie*, 12, pp.381–393.
 58. **Dixon G.M., 1969.** The effect of cereal cyst eelworm on spring sown cereals. *Plant Pathology*, 18: pp.109-112.
 59. **Djetti, T., Hammache, M., Doumandji, S., 2018.** Incidence et répartition géographique du nématode à kyste des céréales (CCN, *Heterodera spp.*) Dans les champs de blé d'hiver en Algérie. *Arxius de Miscellània Zoològica*, 16: pp.151–162.
 60. **Djetti, Tayeb. .2019.**Répartition spatio-temporelle des nématodes à kyste des céréales en Algérie. Univ, ENSA ,2019. Thèse de doctorat.
 61. **Djian-Caporalino, C., Védie, H., et Arrufat, A. 2009.** Gestion des nématodes à galles: alternatives de lutte conventionnelle et luttés. L'atout des plantes pièges. *Phytoma*, 624, pp. 21-5.
 62. **Doumandji S.,Souttou K., Daoudi-Hacini S., Setbel S.,Mahdi K.,Derdoukh W.Et Guerzou A., 2010.** Diversité des régimes alimentaires chez les oiseaux en Algérie .Journée Nationales sur la zoologie agricole et forestière 19 au 21 avril ,Ecol .,Nat.,Sup., Agro.,El Harrach, pp.55-56.
 63. **Dubois G.Et Flodrops B., 1987.** La protection des semences Edi.Bayer Agri-Nathan, 96p.
 64. **FAO, 2018.** Fiche sur l'offre et la demande de céréales, <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> [Consulté le 8 juillet 2017] : Site Web FAOSTAT, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. faostat.fao.org.

65. **FAOSTAT 2020.** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. En ligne: <http://www.fao.org/faostat/en>.
66. **Felsenstein, J. 1985.** Phylogénies et méthode comparative. *The American Naturalist* 125 (1): pp. 1-15
67. **Fenwick DW. 1940.** Méthodes de récupération et de comptage des kystes d'*Heterodera schachtii* du sol. *Journal of Helminthology*, 18 : pp. 155-172.
68. **Ferri, E., Barbuto, M., Bain, O., Galimberti, A., Uni, S., Guerrero, R., Ferté, H., Bandi, C., Martin, C. et Casiraghi, M. 2009.** Taxonomie intégrée: approche traditionnelle et codes-barres ADN pour l'identification des vers filarioidés et des parasites apparentés (Nematoda). *Frontiers in Zoology* 16, pp. 201–213.
69. **Filipjev, I. et Schuurmans, S. 1941.** Un manuel d'helminthologie agricole. Leiden, Pays-Bas. Journal électronique: Brill.
70. **Fouad Mokrini, Salah-Eddine Laasli, Driss Iraqui, Ahmed Wifaya, Abdelaziz Mimouni, Gül Erginbas-Orakci, Mustafa Imren et Abdelfattah A. Dababat. 2020.** Distribution et occurrence des nématodes végétaux parasites associés aux framboises (*Rubus idaeus*) dans la région de Sousse-Massa, Maroc: relation avec les propriétés physico-chimiques du sol.
71. **Franklin, M.T. 1969.** *Heterodera latipons* n. sp., un nématode à kyste des céréales de la région méditerranéenne. *Nematologica* 15, pp. 535–542.
72. **Gair, R., Mathias, P.L. Et Harvey, P.N. 1969.** Etudes des populations de nématodes des céréales et des rendements céréaliers en culture continue ou intensive. *Annales de biologie appliquée* 63, pp. 503–512.
73. **Grandison, G.S. et Halliwell, H.G. 1975.** Un nouveau ravageur des céréales. *Journal de l'Agriculture de la Nouvelle-Zélande* 130, pp. 64–65.
74. **Graney, L. S. O.1985.** "Observations Sur La Morphologie Des *Heterodera-Carotae* Et *Heterodera-Avenae* Au Michigan." *Journal De Nématologie*. Vol. 17. No 4. 3012 Skyview Drive, Lakeland, Fl 33801-7072: Soc Nematologists, 1985.
75. **Greco, N., T.D. Addabbo, A. Brandonisio et F. Elia. 1994.** Dommages aux cultures italiennes causés par des nématodes kystiques. *Journal of Nematology* 25: pp. 836–842.
76. **Greco, N., Vovlas, N., Troccoli, A. et Inserra, R.N. 2002.** Le nématode à kyste des céréales méditerranéennes, *Heterodera latipons*: une menace pour les céréales de saison fraîche des États-Unis. *Nematology Circular* 221. (Florida Department of Agriculture and Conservation Services: Gainesville, Florida, USA).

77. **Griffin G.D., 1988.** Facteurs affectant la biologie et la pathogénicité de *Heterodera schachtii* sur betterave sucrière. *Journal of Nematology*, 20: pp.396 - 404.
78. **Grosse, E. et Kohlmüller, S. 2004.** Enquêtes sur la distribution des nématodes à kystes des céréales à l'aide d'une nouvelle méthode différentielle. *Messages du Centre fédéral de recherche biologique pour l'agriculture et la foresterie Berlin-Dahlem* 396, pp. 563-564.
79. **Grujicic, G. 1966.** Nématodes phytoparasites sur le territoire du S.R. de Serbie avec une référence particulière aux études bioécologiques sur *Heterodera schachtii* et *Anguina tritici* (Steinbuch). *Filipjev. Bulletin sciences*, section 11, pp. 272-273.
80. **Habash DZ, Kehel Z, Nachit M. 2009.** Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), pp. 2805–2815.
81. **Haddadi F. 1997.** Contribution à l'étude bioécologique du nématode à kyste *Heterodera avenae* Woll. 1929, Essai de comportement de 6 variétés de blé dur vis-à-vis de deux populations de ce parasite. Mémoire de magistère, INA, El Harrach : 193p.
82. **Haddadi, F. 2015.** Les nématodes à kyste *Heterodera* spp. des céréales en Algérie : Études sur la distribution, les espèces, les pathotypes et les antagonistes. Thèse. Doc. El Harrache, p.150.
83. **Haddadi, F. et Mokabli, A. 2015.** Présence actuelle de nématodes à kystes des céréales dans certains champs du nord de l'Algérie. Dans: Dababat, A.A., Muminjanov, H. et Smiley, R.W. (Eds). *Nématodes des céréales à petits grains: état actuel et recherche*. Ankara, Turquie : pp. 59-66.
84. **Hafez, S. L. et Golden, A. M. 1984.** Premier signalement de nématode à kyste de l'avoine dans l'est de Washington. *Plant Disease*, vol. 68, n ° 1, p. 351.
85. **Hafez, S.L. et Golden, A.M. 1985.** Premier rapport de nématode à kyste de l'avoine (*Heterodera avenae*) sur l'orge dans l'Idaho. *Maladie des plantes* 69, 360pp.
86. **Hafez, S.L., Golden, A.M., Rashid, F. et Handoo, Z. 1992.** Nématodes parasites des plantes associés aux cultures de l'Idaho et de l'est de l'Oregon. *Nematologica* 22, pp.193–204.

87. **Hajihhasani, A., Tanha, M.Z., Nicol, J.M. et Rezaee, S. 2010.** Effet du nématode à kyste des céréales, *Heterodera filipjevi*, sur le blé dans les essais sur microplaques. *Nematology* 12, pp. 357–363.
88. **Hajihhasani, M., Hajihhasani, A., et Ghalandar, M. (2008).** Distribution and population density of the cereal cyst nematodes (*Heterodera Spp.*) in rain-fed fields of wheat and barley of the Markazi province. *New Finding in Agriculture*, 2(4 (Summer 2008)), pp. 366-374.
89. **Hamroun W. 2006.** Etat d'infestation de quelques régions céréalières d'Algérie. Thèse Magist. Inst. Nat. Agro., EL Harrach, 2006, 121 p.
90. **Haroon, S.A., Ezzat, O. et Reham, M. 2009.** L'effet des exsudats racinaires de certaines Plantes médicinales égyptiennes sur le nématode à kyste, *Heterodera zaeae*. Actes du premier atelier de l'Initiative internationale sur les nématodes à kystes des céréales, 21-23 octobre 2009, Antalya, Turquie, pp. 227-232.
91. **Hashmi, S. et Krusberg, L.R. 1995.** Facteurs influençant l'émergence des juvéniles des kystes d'*Heterodera zaeae*. *Journal of Nematology* 27, pp. 362–69.
92. **Hassan, G.A. 2008.** Etude écologique et biologique des nématodes à kystes (*Heterodera spp.*) Sur blé dans le gouvernorat d'Al-Hassakah. M.Sc. thèse. Université de Damas, Syrie.
93. **Hazmi, A.S., Dawabah, A.M., Aldoss, A.A. et Mustafa, K.A. 2015.** Evaluation de différents génotypes de blé pour la résistance à *Heterosdera avenae* en Arabie Saoudite. Dans: Dababat, A.A., Muminjanov, H. et Smiley, R.W. (Eds). *Nématodes des céréales à petits grains: état actuel et recherche*. FAO, Ankara, Turquie, pp. 233-238.
94. **Hirschmann, Hedwig, Paschalaki-Kourtzi, N., et Triantaphyllou, A. C. 1966.** Une enquête sur les nématodes parasites des plantes en Grèce. Dans: *Annales de l'Institut Phytopathologique Benaki*. pp. 144-156.
95. **Holgado r., Andersson s. and Magnusson c., 2006.** Gestion des nématodes à kystes des céréales *Heterodera spp.* En Norvège. *Comm. Appl. Biol. Sci.* 71 (3a): 7p.
96. **Holgado, R., andersson, S., Rowe, J. A., et al. 2004.** Premier enregistrement d'*Heterodera filipjevi* en Norvège. *Nematologia mediterranea*.
97. **Ibrahim A.A.M., Al hazmi A.S., AL Yahya F.A. et Alderfasi A.A. 1999.** Potentiel de dommages et reproduction de *Heterodera avenae* sur le blé et le

- barleyn dans des conditions de terrain saoudiennes. *Nematology*, 1999, 1: pp. 625-630.
98. **Imren, M., L. Waeyenberge, N. Viaene, C. H. Elekcioglu et A. Dababat. 2015.** Identification morphologique et moléculaire des nématodes à kystes des céréales de la région méditerranéenne orientale de la Turquie. *Journal turc d'agriculture et de foresterie* 39: pp.91-98.
99. **Imren, M., Waeyenberge, L., Viaene, N., Toktay, H., Dababat, A. et Elekcioglu, H. 2012.** Caractérisation moléculaire des nématodes à kystes des céréales de la région de l'Anatolie du Sud en Turquie à l'aide de séquences ITS-ADNr. *Journal turc d'entomologie* 4, pp. 491–499.
100. **Ireholm, A. 1996.** Stockage à long terme des kystes d'*Heterodera avenae*. *Nématologie fondamentale et appliquée*, vol. 19, n ° 4, p. 357-361.
101. **Jabbari, H. et G. Niknam, 2008.** Observations MEB et morphométrie du nématode à kyste du chou, *Heterodera cruciferae* Franklin, 1945, collectées là où *Brassica spp.* sont cultivés à Tabriz, en Iran. *Journal turc de zoologie*, 32: pp. 253-262.
102. **Jahier, Joseph, Abelard, Paulette, Tanguy, M., 2001.** Le segment *Aegilops ventricosa* sur le chromosome 2AS du cultivar de blé «VPM1» porte le gène de résistance aux nématodes à kystes des céréales Cre5. *Sélection végétale*, vol. 120, n ° 2, p. 125-128.
103. **Jones F. G. W. 1950.** Une nouvelle espèce d'anguille des racines attaquant les carottes. *Nature* 165: 81p.
104. **Kaci A., Righi k., et Mokabli A., 1998.** Contribution à l'étude du Nématode à kyste des céréales « *Heterodera avenae* » dans quelques régions céréalières de l'ouest de l'Algérie. 1er symposium des Sciences Agronomiques organisée le 25 Mai 1998. Centre Universitaire de Mascara.
105. **Kerry B.R., Crump D.H. et Mullen L.A., 1982a.** Lutte naturelle contre le nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* Woll. Par les champignons du sol sur trois sites. *Protection des cultures* 1: pp.99-109.
106. **Kerry B.R., Crump D.H. and Mullen L.A., 1982b** - Etudes du nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* sous céréales continues 1975-1978. II. Parasitisme fongique des nématodes femelles et des œufs. *Annales de biologie appliquée*. 100: pp. 489-499.

107. **Kerry, B.R., Simon, A. et Rovira, A.D. 1984.** Observations sur l'introduction de *Verticillium chlamydosporium* et d'autres champignons parasites dans le sol pour lutter contre le nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae*. Annales de biologie appliquée 105, pp. 509–516.
108. **Kirjanova, E. S. 1969.** Sur la structure de la couche sous-cristalline du genre de nématodes *Heterodera* (Nematoda: Heteroderidae) avec une description de deux nouvelles espèces.] Parazitologiya 3: pp.81-91.
109. **Kirouani, A, Redha Ould Kiar , Boukhalfoun.L , et Fellahi.Z. 2019.** Caractérisation de quelques variétés Algériennes de blé dur (*Triticum turgidum L. var. durum*) par le biais des marqueurs phénotypiques. Journal of Applied Biosciences 142: pp.14464 - 14477
110. **Kort, J. A. 1960.** Technique d'extraction des kystes d'*Heterodera* du sol humide et d'estimation de leur contenu en œufs et en larves. Verslagen en Medelingen Plantenziektenkundige Dienst. Wageningen. Pays-Bas, 1960, vol. 233, n° 6.
111. **Kort, J. 1972.** Maladies des nématodes des céréales des climats tempérés. Maladies nématodes des céréales des climats tempérés.
112. **Krusberg, L. R., Hirschmann, Hedwig, Et Al., 1958.** Une enquête sur les nématodes parasites des plantes au Pérou. Plant Disease Reporter, vol. 42, n ° 5, p. 599-608.
113. **Kühn, J. 1874.** *Tilletia contraverssa. Hedwigia*, 1874, vol. 13, pp. 188-189.
114. **Kumar, S., G. Stecher et K. Tamura. 2016.** MEGA7: analyse génétique évolutive moléculaire version 7.0 pour des ensembles de données plus volumineux. Biologie moléculaire et évolution 33: pp.1870-1874.
115. **Labdelli F. 1995.** Etude du nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* (Nematoda, Heteroderidae). Répartition dans la wilaya de Tiaret. Test de comportement variétal sur céréales locales et étrangères. Mémoire de magistère, INA, El-Harrach, 97p.
116. **Labdelli F, Adamou-Djerbaoui M, Oulbachir K, Allel A. 2017.** Comportement des variétés de céréales par rapport au nématode à kyste *Heterodera avenae* woll (*Heteroderidae, tylenchida*) dans la zone de Tiaret (Algérie). J. Fundam. Appl. Sci., 2017, 9 (3) : pp.1378-1394.
117. **Lacombe, J. P. Et Garcin, C.1988.** Résultats récents obtenus avec l'aldicarbe contre les nématodes sur céréales à paille. In : *CR Deuxieme Conf. Internat. Mai. Plantes, Bordeaux.* 1988 : pp. 8-10.

118. **Laffont J.M., 1985.** Les maladies des céréales et du maïs, CIBA-Geigy/Acri-Nathan .96p.
119. **Lamberti, F.1971.** "Anomalies induites par les nématodes de la carotte dans le sud de l'Italie." Journaliste des maladies des plantes.
120. **Liebscher, G. 1892.** Observations sur l'apparition d'un nématode sur les pois. Journal of Agriculture, 1892, vol. 40, pp. 357-368.
121. **Madani, M, Palomares-Rius, Juan E., Vovlas, Nicola et al. 2018.** Diagnostic intégratif du nématode à kyste de la carotte (*Heterodera carotae*) à l'aide de la morphologie et de plusieurs marqueurs moléculaires pour une identification précise. European Journal of Plant Pathology, 2018, vol. 150, n ° 4, p. 1023-1039.
122. **Madani, M., N. Vovlas, P. Castillo, S. A. Subbotin et M. Moens. 2004.** Caractérisation moléculaire des espèces de nématodes à kystes (*Heterodera spp.*) Du bassin méditerranéen à l'aide de RFLP et de séquences d'ITS-ADNr. Journal of Phytopathology 152: pp. 229-234.
123. **Madzhidov, A.R.1981.** [Bidera filipjevi n. sp. (Heteroderina: Tylenchida) au Tadjikistan.] Izvestiya Akademii Nauk Tadjiksköi SSR, Biologicheskie Nauki 2, pp. 40–44. (en russe).
124. **Maqbool, M.A. 1988.** État actuel de la recherche sur les nématodes parasites des plantes dans les céréales et les légumineuses alimentaires et fourragères au Pakistan. Dans: Saxena, M.C., Sikora, R.A. Et Srivastava, J.P. (éditeurs). Nématodes parasites des céréales et des légumineuses dans les régions tempérées semi-arides. Actes de l'atelier, Larnaca, Chypre, 1er-5 mars 1987. ICARDA, Alep, Syrie, pp. 173-180.
125. **Marathee, J. P. et H. Gomez- MacPherson. 2001.** Offre et demande mondiales futures. pp. 1107-1116 dans A. P. Bonjean, W. J. Angus, éd. Le livre mondial du blé. Intercept, Hampshire, Royaume-Uni et Lavoisier, Paris.
126. **Mascara, A.M. 1963.** Quelques considérations sur les nématodes, à savoir les intérêts agricoles: leur diffusion et leur importance. Agros 46, pp. 99-140.
127. **Mataille T. 1994.** Biologie de la relation plantes-nématodes: perturbations physiologiques et mécanismes de défense des plantes. O E. J. Brill, Leiden, *Nematologica* 40: 276-311.
128. **McDonald, A.H. et Nicol, J.M. 2005.** Nématodes parasites des céréales. Dans: Luc, M., Sikora, R.A. Et Bridge, J. (Eds). Nématodes parasites des plantes en

agriculture subtropicale et tropicale. CAB International, Wallingford, Royaume-Uni, pp. 131–191.

129. **Meagher J. W. et Brown R. H., 1974.** Expériences en microplot sur l'effet de plantes hôtes sur les populations de nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) et sur le rendement ultérieur en blé. *Nematologica*, 20: pp. 337-346.
130. **Meagher, J. W. 1970.** Fluctuations saisonnières du nombre de larves du nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) et de *Pratylenchus Minyus* et *Tylenchorhynchus Brevidens* dans le sol. *Nematologica*, 1970, vol. 16, n ° 3 : pp. 333-347.
131. **Meagher, J.W. 1972.** Nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae* Woll.). Études sur l'écologie et le contrôle à Victoria. Bulletin technique 24, Dep. Agric. Vict. 50 pp.
132. **Meagher, J.W. 1977.** Dissémination mondiale du nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) et son potentiel en tant que pathogène du blé. *Journal of Nematology* 9, pp. 9–15.
133. **Mekhlouf A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Hadj Sahraoui A, Harkati N. 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*, 17(4), pp.507–513.
134. **Mennan, S. et Z. Handoo, 2006.** Nématodes parasites des plantes associés aux choux (*Brassica oleracea*) dans le Samsun (région de la mer Noire moyenne) en Turquie. *Nematropica*, 36 (1): pp. 99-104.
135. **Mennan, S, Z. Handoo et O. Ecevit, 2009.** Distribution et degré de contamination des nématodes à kystes (Tylenchida Heteroderidae) dans les zones de culture du chou de Samsun. *Turkey Entomology Journal*, 33 (4): pp. 289-303.
136. **Mezetti, A. 1953.** Observations sur l'anguille radicale des céréales en Italie. *Annales de l'expérimentation agricole N.S.* 7, pp. 743–758.
137. **Meziane ,1996.** Essai du comportement de six variétés de blé due vis-à-vis d'une population *d'H.aveane* (Nematoda,Heteroderidae) .Thèse Ing.Agro.,Inst. Nat.Agro.,El Harrach,78p.
138. **Milat-Bissaad F.Z,Bounaceur F.,Cheriet H ., Chenna M .,Abdelli M.,Baba aissa K.,Moussaoui K.,Cheboutil N.and Hoceini F.,2012.**Spatial distribution of geotrogus seserticola at Tissemessilt area in Nothe of Algeria. *Archives of applied science research*,4(1):pp.388-399.

139. **Mir RR, Zaman-Allah M, Sreenivasulu N, Trethowan R, Varshney RK. 2012.** Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 125(4), pp. 625–645.
140. **Mitchinson, S., Gowen, S.R. et Kerry, B.R. 2009.** L'augmentation de la biodiversité dans les infestations de nématodes à kystes des céréales n'est pas une menace pour la production céréalière intensive dans le sud de la Grande-Bretagne. Dans: Riley, I.T., Nicol, J.M. et Dababat, A.A. (Eds). *Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives*. Ankara, Turquie CIMMYT, pp. 215–220.
141. **Mokabli, A., Valette, S. et Rivoal, R. 2001.** Différenciation de quelques espèces de nématodes à kystes des céréales et des graminées par électrophorèse sur gels d'acétate de cellulose. *Nematologia Mediterranea* 29, pp. 103–108.
142. **Mokabli, A., Valette, S., Gauthier, J.P. et Rivoal, R. 2002.** Variation de la virulence des populations de nématodes à kystes des céréales d'Afrique du Nord et d'Asie. *Nematology* 4, pp. 521–525.
143. **Mokrini, F. Waeyenberge, L., Viaene, N., et Moens, M. 2012.** Premier signalement du nématode à kyste des céréales *Heterodera latipons* sur blé au Maroc. *Maladie des plantes* 96, 774pp.
144. **Mokrini, F., N. Viaene, L. Waeyenberge, M. Afechtal, A. Essarioui et M., Moens. 2017.** L'importance, la biologie et la gestion des nématodes à kystes des céréales. *Le Journal marocain des sciences agronomiques et vétérinaires* 5 (4): pp. 414–421.
145. **Momota, Y. 1979.** Le premier rapport sur *Heterodera latipons* Franklin, 1969 au Japon. *Journal japonais de nématologie* 9, pp. 73–74.
146. **Mor, M., Cohn, E. et Spiegel, Y. 1992.** Phénologie, pathogénicité et pathotypes des nématodes à kyste des céréales, *Heterodera avenae* et *H. latipons* (Nematoda: Heteroderidae) en Israël. *Nematologica* 38, pp. 494–501.
147. **Mugniéy et M. Bossis, 1988; Heterodera carotae Jones, 1950. 1.** Gamme d'heterodera, vitesse de développement, cycle. *Revue Nématol.* II (31: pp. 307-313 .11988).
148. **Mulvey, R.H. et Golden, A.M. 1983.** Une clé illustrée des genres et espèces de Heteroderidae formant des kystes dans l'hémisphère occidentale avec la morphométrie et la distribution des espèces. *Journal of Nematology* 15, pp. 1–59.
149. **Namouchi Kachouri, N., Mouldi, M., B'Chir, M. M., et Hajji, A. 2006.** Damage potential and reproduction of *Heterodera avenae* on wheat and barley

- under Tunisian field conditions. In *Ninth Arab Congress of Plant Protection* (pp. 19.23).
150. **Namouchi-Kachouri, N., B'chir, M.M. et Hajji, A. 2007.** Effet des populations initiales d'*Heterodera avenae* Woll. Sur les composantes du rendement du blé et de l'orge et sur les populations finales de nématodes dans les conditions de terrain tunisiennes. *Journal tunisien de la protection des végétaux* 3 :pp. 19–26.
 151. **Namouchi-Kachouri, N., Kallel, S., et B'Chir, M. M. 2009.** Incidence d'*Heterodera avenae* sur le blé dur, *Triticum durum*, sous les conditions naturelles tunisiennes. *Nematologia Mediterranea. nematode control in crops*. Brown, R. H. & Kerry, B. R. (Eds), London: Academic Press, pp.179-231.
 152. **Ngala, B.M., Haydock, P.P.J., Woods, S. et Back, M.A. 2015.** Biofumigation avec *Brassica juncea*, *Raphanus sativus* et *Eruca sativa* pour la gestion des populations de terrain du nématode à kyste de la pomme de terre *Globodera pallida*. *Pest Management Science* 71, pp. 759-769.
 153. **Nicol, J., Rivoal, R., Taylor, S. et Zaharieva, M. 2003.** Importance mondiale du kyste (*Heterodera spp.*) Et nématodes lésés (*Pratylenchus spp.*) Sur les céréales: répartition, perte de rendement, utilisation de la résistance de l'hôte et intégration d'outils moléculaires. Dans: Cook, R. et Hunt, D.J. (Eds). Actes du quatrième congrès international de nématologie, 8-13 juin 2002, Tenerife, Espagne. Monographies et perspectives de nématologie 2. Leiden, Pays-Bas, Brill, pp. 1–19.
 154. **Nicol, J.M et Rivoal, R. 2000.** Développement d'AUS4930 - Une source de résistance contre les nématodes des lésions racinaires et le complexe de nématodes à kystes des céréales (CCN) pour la sélection mondiale. In: Proceedings of the Second Australasian Soilborne Diseases Symposium, Lorne, Victoria, 5-8 mars 2001. Victoria, Australie. pp. 67–68.
 155. **Nicol, J.M. 2002.** Nématodes nuisibles importants des céréales. Dans: Curtis, B.C. (Ed). Production et amélioration du blé. Série FAO sur la production végétale et la protection des végétaux, Rome, Italie, pp. 345–366.
 156. **Nicol, J.M. et Rivoal, R. 2008.** Connaissance globale et son application pour le contrôle et la gestion intégrés des nématodes sur le blé. Dans: Ciancio, A. et Mukerji, K.G. (Eds). Gestion intégrée et contrôle biologique des nématodes des cultures maraîchères et céréalières. Vol. 2. Dordrecht, Pays-Bas, Springer, pp. 243-287.

157. **Nicol, J.M., Bolat, N., Sahin, E., Tülek, A., Yıldırım, A.F., Yorgancılar, A., Kaplan, A. et Braun, H.J. 2006.** Le nématode à kyste des céréales cause des dommages économiques aux systèmes de production de blé pluvial de Turquie. *Phytopathologie* 96, S169.
158. **Nicol, J.M., Rivoal, R., Taylor, S. et Zaharieva, M. 2004.** Importance mondiale du kyste (*Heterodera spp.*) Et du nématode des lésions (*Pratylenchus spp.*) Sur les céréales: distribution, perte de rendement, utilisation de la résistance de l'hôte et intégration d'outils moléculaires. Dans: Cook, R. et Hunt, D.J. (Eds). *Monographies et perspectives sur la nématologie. Actes du quatrième congrès international de nématologie, 8-13 juin 2002, Tenerife, Espagne.*, pp. 1–19.
159. **Nitao, James K., Meyer, Susan Lf, Et Chitwood, David J. 1999.** Dosages in vitro de *Meloidogyne incognita* et *Heterodera glycines* pour la détection de composés fongiques antagonistes des nématodes. *Journal of Nematology*, vol. 31, n ° 2, p. 172.
160. **Norton, D. C. 1978.** *Ecologie des nématodes parasites des plantes*, John Wiley et Sons, New York, Chichester etc.
161. **OCDE et FAO, 2016.** «Perspectivas agrícolas 2016-2025».
162. **Ogbonnaya, F.C., Seah, S., Delibes, A., Jahier, J., Lopez-Brana, I., Eastwood, R.F. Et Lagudah, E.S. 2001.** Caractérisation génétique moléculaire d'une nouvelle résistance au nématode 147 d'*Aegilops ventricosa* et de ses dérivés dans le blé. *Génétique théorique et appliquée* 102, pp. 623–629.
163. **Oostenbrink, M. 1955.** *Heterodera carotae* Jones, 1950 op peen, *Daucus carotae* L. Plziektk Dienst, Wageningen Jaar- boek 1954/1955: pp. 238-242.
164. **Oostenbrink, M. 1960.** Estimation des populations de nématodes par certaines méthodes sélectionnées. *Nématologie*: pp. 85-102.
165. **Osborne, W. Wyatt. 1971.** «Le nématode à kyste d'Osborne - un ravageur grave du tabac.
166. **Oudinet, R. 1968.** «Nematodes De Carotte». *Phytoma* 20, no. 198 (1968): 33p.
167. **Oudinet, R., Cherblanc, G., Schneider, J., et Deloustal, J. 1962.** Quatre années d'essais de traitements contre le nématode de la carotte. *Phytoma*, 14 (135), pp. 11-15.

168. **Oufroukh F. et Hamadi M., 1993-** Maladies et ravageur des céréales. In benchabane K.D. et Ould-Mekgloufi L. 1998. Evaluation phénologique de quelques variétés d'orge (*hordeumvulgare L.*) et leur sensibilité vis-à-vis de *drechsleragraminea*Rab.Mém. Ing Agro.INA.El-harrach.PP59-62.
169. **Öztürk, G., Yildirim, A.F. et Enneli, S. 1998.** Répartition et fréquence des nématodes à kystes des céréales (*H. avenae Wollenweber*) dans la zone de culture du blé de Konya. Actes du Congrès de Phytopathologie de Turquie, Ankara, Turquie, pp.260–264.
170. **Peng, D.L., Nicol, J., Li, H.M., Hou, S.G., Li H.X., Chen, S.L., Ma, P., Li, H.L. et Riley, I.T. 2009.** Connaissances actuelles du nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) sur le blé en Chine. Dans: Riley, I.T., Nicol, J.M. et Dababat, A.A. (Eds). Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives. Ankara, Turquie, CIMMYT. pp. 29-34.
171. **Peng, Deliang, NICOL, Julie M., LI, Hongmei, et al., 2009.** Connaissances actuelles du nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) sur le blé en Chine. Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives, pp. 29-34.
172. **Philis, I. 1988.** Présence d'*Heterodera latipons* sur l'orge à Chypre. Nematologia Mediterranea 16, 223 pp.
173. **Rammah A., 1994.** Nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) au Maroc. Bulletin d'information sur la protection des plantes dans les pays arabes et au Proche-Orient 19: 40 p
174. **Ranieri R, 2015.** Geography of the Durum Wheat Crop pastaria international 6.
175. **Rharrabti Y, Moral Garcia del LF, Villegasb D, Royo, C, 2003.** Durum wheat quality in Mediterranean environments III. Stability and comparative methods in analysing G×E interaction. Field Crops Research, 80(2), 141–146.
176. **Righi K., Mokabli A., et Assia F., 2014.** Dispersion du nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*) dans quelques régions céréalières de l'Ouest Algériens. Séminaire national sur Biodiversité faunistique. ENSA El Harrach 7-9 décembre 2014.
177. **Righi K., Mokabli A., Righi A.F., et Gourari H., 2011.** Etude de l'état d'infestation des parcelles céréalières par le nématode à kyste (*Heterodera sp*) dans les Wilayas de Mascara et Relizane et identification des espèces en cause. Séminaire international sur la protection des végétaux. ENSA El Harrach 18 au 20 avril 2011.

178. **Riley I.T., Nicol J.M. and Dababat A.A., 2009** - Cereal cyst nematodes: status research and outlook. Ed. CIMMYT, Ankara, Turkey, 242 p.
179. **Riley, I.T., Hou, S.Y., Chen, S.L. 2010.** La rotation des cultures et les déterminants spatiaux de la variation de la densité de population de *Heterodera avenae* (nématode à kyste des céréales) à l'échelle du village dans les céréales de printemps cultivées à haute altitude sur le plateau tibétain, Qinghai, Chine.
180. **Riley, I.T., Nicol, J.M. et Dababat, A.A. 2009.** Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives. Ankara, Turquie, CIMMYT.
181. **Rivoal R, 1973.** Etude de la nuisibilité du nématode à kystes des céréales *Heterodera avenae* Woll. En France et des causes de sa variabilité. Acad. Agric., C.R.T.12, pp. 959-970.
182. **Rivoal, R. 1977.** Identification des races biologiques du nématode à kystes des céréales, *Heterodera avenae* Woll., En France. Annales de Zoologie Ecologie Animale 9, pp. 261-272.
183. **Rivoal, R. 1986.** Biologie de *Heterodera avenae* Wollenweber en France. IV. Etude comparative des cycles d'éclosion de deux écotypes après leur transfert dans des conditions climatiques différentes. Revue de Nématologie 9, pp. 405–410.
184. **Rivoal, R. et Cook, R. 1993 .**Nématodes ravageurs des céréales. Dans: Evans, K., Trudgill, D.L. Et Webster, J.M. (éd.). Nématodes parasites des plantes en agriculture tempérée. CAB International, Wallingford, Royaume-Uni, pp. 259-303.
185. **Rivoal, R. et Nicol, J.M. 2009.** Recherches antérieures sur le complexe des nématodes à kystes des céréales et les besoins futurs. Dans: Riley, I.T., Nicol, J.M. et Dababat, A.A. (Eds). Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives. CIMMYT: Ankara, Turquie, pp. 149-153.
186. **Rivoal, R., Bekal, S., Valette, S., Gauthier, J.P., Fradj, M.B.H., Mokabli, A., Jahier, J., Nicol, J. et Yahyaoui, A. 2001.** Variation de la capacité de reproduction et de la virulence sur différents génotypes et gènes de résistance des Triticeae, dans le complexe d'espèces de nématodes à kystes des céréales. Nematology 3, pp. 581–592.
187. **Rivoal, R., et Ireholm, A. 1990.** Hatching cycles of three populations of *Heterodera avenae* (Nematoda, Heteroderidae) in France and Swede: influence of temperature on the evolution of their respective diapauses. Colloques de l'INRA (France).

188. **Rivoal, R., Valette, S., Bekal, S., Gauthier, J.P. et Yahyaoui, A. 2003.** Diversité génétique et phénotypique dans le complexe de nématodes à kystes graminés, déduite de la PCR-RFLP de l'ADN ribosomique et de l'analyse morphométrique. *European Journal of Plant Pathology* 109, pp. 227–241.
189. **Roberts, P. 1992.** État actuel de la disponibilité, du développement et de l'utilisation de la résistance des plantes hôtes aux nématodes. *Journal of Nematology* 24, pp.213-227.
190. **Romero, M.D. 1980.** *Heterodera latipons* nouvelle espèce pour l'Espagne. *Nematologia Mediterranea* 8, pp. 95–98.
191. **Romero, M.D., Montes, M.J., Sin, E., Lopez-Brana, I., Duce, A., Martin-Sanchez, J.A., Andres, M.F. et Delibes, A. 1998.** Un gène de résistance au nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae* Woll) transféré d'*Aegilops triuncialis* au blé hexaploïde. *Génétique théorique et appliquée* 96 :pp. 1135–1140.
192. **Rumpenhorst, H.J., Elekçioğlu, I.H., Sturhan, D., Ozturk, G. et Enneli, S. 1996.** Le nématode à kyste des céréales *Heterodera filipjevi* (Madzhidov) en Turquie. *Nematologia Mediterranea* 24, pp. 135–138.
193. **Sabova, M., Valocka, B., Liskova, M. et Vargova V. 1988.** La première découverte d'*Heterodera latipons* Franklin, 1969 sur des peuplements herbeux en Tchécoslovaquie. *Helminthologia* 25, pp. 201–206.
194. **Sahin, E. 2010.** Répartition des importants nématodes parasites des plantes dans la zone de production de blé du plateau central de l'Anatolie, et études sur la biologie et la lutte contre le nématode à kyste des céréales *Heterodera filipjevi*. Doctorat thèse. Université Çukurova, Adana, Turquie.
195. **Sahin, E., Nicol, J.M., Elekçioğlu, I.H. Et Rivoal, R. 2010.** Ecllosion d'*Heterodera filipjevi* dans des conditions de température contrôlée et naturelle en Turquie. *Nematology* 12, pp.193–200.
196. **Sahin, E., Nicol, JM, Elekçioğlu, IH, Yorgancılar, Ö., Yıldırım, AF, Tülek, A., Hekimhan, H., Yorgancılar, A., Kılınç, AT, Bolat, N. et Erginbaş-Orakçı, G. 2009.** Fréquence et diversité des nématodes des céréales sur le plateau anatolien central de la Turquie. Dans: Riley, I.T., Nicol, J.M. et Dababat, A.A. (Eds). *Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives*. Ankara, Turquie, CIMMYT, pp.100–105.

197. **Saitou, N., et M. Nei. 1987.** La méthode de voisinage: une nouvelle méthode pour reconstruire les arbres phylogénétiques. *Biologie moléculaire et évolution* 4 (4): pp.406-425.
198. **Sambrook, J., E. F. Fritsch et T. Maniatis. 1989.** Clonage moléculaire: un manuel de laboratoire (No. Ed. 2). Presse de laboratoire de Cold Spring Harbor.
199. **Schmidt, A. 1871.** À propos du nématode de la betterave (*Heterodera schachtii* A.S.). *Journal de l'association pour l'industrie du sucre de betterave à Zollverein* 21, pp. 1–19.
200. **Scholz, U. 2001.** Biologie, pathogénicité et contrôle du nématode à kyste des céréales *Heterodera latipons* Franklin sur blé et orge en conditions semi-arides, et interactions avec la pourriture des racines *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker [Teleomorph: *Cochliobolus sativus* (Ito et Kurib.) Drechs. ex Dastur.]. Doctorat thèse. Université de Bonn, Allemagne.
201. **Scholz, U. et Sikora, R.A. 2004.** Comportement d'éclosion et cycle de vie de *Heterodera latipons* Franklin tels qu'affectés par les conditions agro-écologiques existant dans les régions de culture semi-arides. *Nematologica* 6, pp. 245–256.
202. **Scotto La Massese, C. 1961.** Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie. Journée d'Etude et d'Information. Association de Coordination Technique Agricole, FNGPC, Paris, pp. 1-27.
203. **Sewell, M. M., 1973.** L'influence du traitement anthelminthique des brebis sur les proportions relatives de parasites nématodes gastro-intestinaux chez leurs agneaux. *Le dossier vétérinaire*, 1973, vol. 92, no 14, pp. 371.
204. **Shiabova T.N., 1982.** Facteurs de nocivité du nématode à kyste des céréales. Dans: Ivanov O.A., éd. *Écologie des ravageurs des cultures agricoles*. Novossibirsk: Sibniizkhim, pp. 32-36.
205. **Shubane, A. R. 2018.** Une étude morphologique et moléculaire de *Heterodera carotae* Jones, 1950 en Afrique du Sud. Thèse de doctorat, Université du Nord-Ouest.
206. **Siddiqui M. R. 2000.** *Tylenchida parasites des plantes et des insectes*. CABI Publishing, Royaume-Uni.
207. **Sikora, R. A., 1987.** Nématodes parasites des plantes du blé et de l'orge dans les régions tempérées semi-arides - une analyse comparative. Dans: *Nématodes parasitic to Cereals and Legumes in Tem-perate Semi – arid Regions*, Atelier tenu à Larnaca, Chypre, 1–5 mars 1987: pp. 46–48. Alep, Syrie.

208. **Sikora, R.A. 1988.** Nématodes parasites des plantes du blé et de l'orge dans les régions semi-arides tempérées et tempérées - une analyse comparative. Dans: Saxena, M.C., Sikora, R.A. Et Srivastava, J.P. (éditeurs). Nématodes parasites des céréales et des légumineuses dans les régions tempérées semi-arides. ICARDA, Alep, Syrie, pp. 46–48.
209. **Sikora, R.A. Et Oostendorp, M. 1986.** Rapport: Présence de nématodes parasites des plantes dans les champs expérimentaux de l'ICARDA. ICARDA, Alep, Syrie.
210. **Simon A., 1980.** A plant assay of soil to assess potential damage to wheat by *Heterodera avenae*. Plant disease, 64: pp. 917- 919.
211. **Singh, A. K., Sharma, A. K., Shoran, J., 2009.** *Heterodera avenae* et sa gestion sur le blé en Inde. In: Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives. Actes du premier atelier de l'Initiative internationale sur le nématode à kyste des céréales, 21-23 octobre 2009 Antalya, Turquie: 17-22 (I. T. Riley, J. M. Nicol, A. A. Dababat, Eds.). CIMMYT, Ankara, Turquie.
212. **Smaha D., 1998.** Etude de la biologie du nématode à kyste de céréales de *Heterodera avenae* Wollenweber ,1924 . Essai de comportement de 6 variétés de blé du vis-à-vis de deux populations de ce parasite.Thèse de magister INRA ,El Harrach,169p.
213. **Smaha, D., Mokrini, F., Imren, M., Mokabli, A., Dababat, A.A. 2018.** Premier signalement d'*Heterodera hordecalis*, un nématode à kyste des céréales, sur du blé en Algérie. Plant Disease, 102 (10): 2042.
214. **Smaha, D., Mokrini, F., Imren, M., Mokabli, A., Wifaya, A., Dababat, A.2019.** Caractérisation des nématodes à kystes des céréales en Algérie basée sur la morphologie, la morphométrie, les amorces spécifiques à l'espèce et les analyses de séquence ADNr-ITS. Identification morphologique et moléculaire des espèces de nématodes à kystes (*Heterodera* spp.) Dans les champs céréaliers algériens. Journal of Plant Protection Research, 59 (3).
215. **Smiley R.W. et Yan G.P., 2010.** Université d'État de l'Oregon. Nématodes à kystes des céréales: biologie et gestion des cultures d'orge et d'avoine de blé du nord-ouest du Pacifique. A Pacific Northwest Extension Publications, projet PNW 520. Oregon State University, 9 p.
216. **Smiley, R. W., Dababat, A. A., Iqbal, S., Jones, M. G., Maafi, Z. T., Peng, D., ... et Waeyenberge, L. (2017).** Cereal cyst nematodes: A complex and destructive group of *Heterodera* species. *Plant Disease*, 101(10), pp.1692-1720.

217. **Smiley, R. W., Marshall, J. M., Gourlie, J. A., Paulitz, T. C., Kandel, S. L., Pumphrey, M. O., ... et Jackson, C. A. (2013).** Spring wheat tolerance and resistance to *Heterodera avenae* in the Pacific Northwest. *Plant disease*, 97(5), pp. 590-600.
218. **Smiley, R.W. 2009.** Présence, répartition et lutte contre *Heterodera avenae* et *H. filipjevi* dans l'ouest des États-Unis. Dans: Riley, I.T., Nicol, J.M. et Dababat, A.A. (Eds). Nématodes à kystes des céréales: état, recherche et perspectives. Ankara, Turquie, CIMMYT, pp. 35–40.
219. **Smiley, R.W. 2016.** Nématodes à kystes des céréales: biologie et gestion des cultures de blé, d'orge et d'avoine du nord-ouest du Pacifique. PNW Extension Bulletin 620, Oregon State University, Corvallis, OR. <https://catalog.extension.oregonstate.edu/pnw620>.
220. **Smiley, R.W. et Nicol, J.M. 2009.** Nématodes qui défient la production mondiale de blé. Dans: Carver, B.F. (Ed). Science et commerce du blé. Ames, Wiley-Blackwell, pp. 171–187.
221. **Smiley, R.W., Ingham, R.E., Uddin, W. et Cook, G.H. 1994.** Séquences de cultures pour la gestion des nématodes à kystes des céréales et des agents pathogènes fongiques du blé d'hiver. *Plant Disease* 78, pp. 1142–1149.
222. **Smiley, R.W., Yan, G.P. et Handoo, Z.A. 2008.** Premier signalement du nématode à kyste *Heterodera filipjevi* sur blé en Oregon. *Plant Disease* 92, pp. 1136–1136. *Société helminthologique de Washington* 3, pp. 80–82.
223. **Sosa, M.C. 1966.** Contribution à l'étude d'un phytoparasite nématode: *Heterodera avenae* Woll. Thèse Faculté des Sciences de l'Université Paris, pp.149.
224. **Stanton, J.M. et Eyres, M. 1994.** Éclosion des populations d'Australie occidentale de nématode à kyste des céréales, *Heterodera avenae*, et effets du temps et de la méthode de semis sur le rendement du blé. *Australasian Plant Pathology* 23, pp.1–7.
225. **Stelter H. 1984.** Les espèces de la sous-famille des Heteroderinae (Nematoda: Heteroderidae) et leur répartition. Berlin, Académie des sciences agricoles du D.D.R, 56.p
226. **Stelter, H., Kuhn, H., et al. 1973.** Le nématode à kyste du cactus, *Heterodera cacti*. Fiche d'information pour le service de la protection des végétaux en RDA, 1973, vol. 27, n ° 11, p. 239-240.

227. **Stone, A. R. et Rowe, J. A. 1976.** *Heterodera cruciferae*. CIH Descriptions of plant-parasitic nematodes, Set, 1976, vol. 6.
228. **Stone, A.R.et Hill, A.J. 1982.** Quelques problèmes posés par le complexe *Heterodera avenae*. Bulletin OEPP 12, pp. 317–320.
229. **Stoyanov, D. 1982.** Nématodes kystiques sur les céréales en Bulgarie. Bulletin OEPP 12, pp. 341–344.
230. **Sturhan, D. Et Lišková, M. 2004.** Nématodes à kystes en République slovaque. Helminthologia, 2004, vol. 41, n ° 4, pp. 217-219.
231. **Sturhan, D. et Rumpenhorst, J.R. 1996.** Etudes sur le complexe *Heterodera avenae*. Messages du Centre fédéral de recherche biologique pour l'agriculture et la foresterie Berlin-Dahlem, numéro 317, pp. 75-91.
232. **Subbotin, S. A., A. Vierstraete, P. De Ley, J. Rowe, L. Waeyenberge, M. Moens Et J. R. Vanfleteren. 2001.** Relations phylogénétiques au sein des nématodes formant des kystes (Nematoda, Heteroderidae) basées sur des séquences d'analyse des régions ITS de l'ADN ribosomal. Phylogénétique moléculaire et évolution 21 (1): pp. 1–16.
233. **Subbotin, S. A., D. Sturhan, H. J. Rumpenhorst et M. Moens. 2003.** Caractérisation moléculaire et morphologique du complexe d'espèces *Heterodera avenae* (Tylenchida: Heteroderidae). Nematology 5: pp. 515-538.
234. **Subbotin, S. A., L. Waeyenberge, I. A. Molokanova et M. Moens. 1999.** Identification des espèces du groupe *Heterodera avenae* par morphométrie et ADN-RFLP. Nematology 1 (2): pp.195–207.
235. **Subbotin, S. A., M. Mundo-Ocampo et J. Baldwin. 2010.** Systématique des nématodes à kystes (nématode: Heteroderinae) Monographies et perspectives sur la nématologie. CAB International, Brill Leiden-Boston, p. 68.
236. **Subbotin, S.A. 2015.** *Heterodera sturhani* sp. n. de Chine, une nouvelle espèce du complexe d'espèces *Heterodera avenae* (Tylenchida: Heteroderidae). Journal russe de nématologie 23, pp.145–152.
237. **Subbotin, S.A., Mundo-Ocampo, M. et Baldwin, J.G. 2010.** Description et diagnostic des espèces *Heterodera*. Dans: Hunt, D.J et Perry, R.N. (Eds). Systématique des nématodes à kystes (Nematoda: Heteroderinae), Partie B. Brill, Leiden, Pays-Bas, 512 p.

238. **Subbotin, S.A., Rumpenhorst, H.J. et Sturhan, D. 1996.** Etudes morphologiques et électrophorétiques sur les populations du complexe *Heterodera avenae* de l'ex-URSS. Journal russe de nématologie 4, pp. 29–39.
239. **Subbotin, S.A., Sturhan, D., Rumpenhorst, H.J. et Moens, M. 2002.** Description du nématode à kyste australien des céréales *Heterodera australis* sp. n. (Tylenchida: Heteroderidae). Journal russe de nématologie 10, pp.139-148.
240. **Subbotin, S.A., Sturhan, D., Rumpenhorst, H.J. et Moens, M. 2003.** Caractérisation moléculaire et morphologique du complexe d'espèces *Heterodera avenae* (Tylenchida: Heteroderidae). Nematology 5, pp. 515–538.
241. **Subbotin, S.A., Waeyenberge, L. et Moens, M. 2000.** Identification des nématodes formant des kystes du genre *Heterodera* (Nematoda: Heteroderidae) sur la base des ADN-RFLP ribosomiques. Nématologie 2, pp. 153–164.
242. **Subbotin, S.A., Waeyenberge, L., Molokanova, I.A. Et Moens, M. 1999.** Identification des espèces du groupe *Heterodera avenae* par morphométrie et ADN-RFLP. Nematology 1, pp.195–207.
243. **Tacconi, R., 1976.** Infestation par *Pratylenchus vulnus* [nématodes] sur *Rosa canina*, [rose] *Prunus mahaleb* [S. *Lucia cherry-tree*] et *Prunus persica* [poirier] dans les pépinières]. [Document de conférence de table ronde]. [Italien]. Informatore Fitopatologico.
244. **Talatchian, P., Akhiani, A., Grayeli, Z., Shah-Mohammadi, M. et Teimouri, F. 1976.** Enquête sur les nématodes formant des kystes en Iran en 1975 et leur importance. Journal iranien de phytopathologie 12, pp. 42–43.
245. **Tamura, K. et M. Nei. 1993.** Estimation du nombre de substitutions nucléotidiques dans la région de contrôle de l'ADN mitochondrial chez l'homme et les chimpanzés. Biologie moléculaire et évolution 10 (3): pp. 512-526.
246. **Tanha Maafi, Z., Sturhan, D., Kheiri, A. et Geraert, E. 2007.** Espèces du groupe *Heterodera avenae* (Nematoda: Heteroderidae) d'Iran, Russian Journal of Nematology 15, pp. 49–58.
247. **Tanha Maafi, Z., Subbotin, S.A. et Moens, M. 2003.** Identification moléculaire des nématodes kystiques (Heteroderidae) d'Iran et une phylogénie basée sur les séquences ITS-ADNr. Nematology 5, pp. 99–111.
248. **Taupin, P. 1987.** "Les nématodes phytophages des cultures céréalières." (1987): pp.14-17.

249. **Taylor, Ronald L. 1968.** "Dommages tissulaires induits par un nématode oxyuroïde, *Leidynema* sp. Dans l'intestin postérieur de la blatte de Madère, *Leucophaea maderae*." *Journal of Invertebrate Pathology* 11.2 (1968): pp.214-218.
250. **Thorne, G. 1961.** "Superfamille aphelenchoidea Fuchs, 1937 (Chapitre 15). *Principes de Nématologie*." (1961): pp. 391-441.
251. **Tirchi, N., A. Troccoli, E. Fanelli, A. Mokabli, F. Mouhouche et F. D. Luca. 2016.** Identification morphologique et moléculaire des isolats de nématodes à kystes de pommes de terre et de céréales d'Algérie et leurs relations phylogénétiques avec d'autres populations éloignées de leurs zones géographiques. *Journal européen de phytopathologie* 146 (4): pp. 861–880.
252. **Tobar, J. 1963.** Espèces du général *Heterodera* A. Schmidt. 1871 (*Heteroderidae*: *Nematoda*) de la province de Grenade, avec une description d'une nouvelle procédure de comptage des kystes et de leurs larves infectieuses, en cas d'infections multiples, dans les analyses de routine du sol. *Journal ibérique de parasitologie* 23, pp. 325–339.
253. **Toktay, H., İmren, M., Öcal, A., Waeyenberge, L., Viaene, N. et Dababat, A.A. 2015.** Incidence des nématodes à kystes des céréales dans la région de l'Anatolie orientale en Turquie. *Journal russe de nématologie*, 23, pp. 29–40.
254. **Toumi, F et coll. 2015.** "Développement de tests de qPCR pour la détection quantitative de *Heterodera avenae* et *H. latipons*." *Journal européen de phytopathologie* 143.2 (2015): pp. 305-316.
255. **Toumi, F, 2017.** Nématodes à kystes des céréales: identification et quantification moléculaires et dépistage de la résistance chez le blé. 2017. Thèse de doctorat. Université de Gand.
256. **Turner, S.J., Stone, A.R. et Perry, J.N. 1983.** Sélection de nématodes à kystes de la pomme de terre sur des hybrides *Solarium vernei* résistants. *Euphytica*, 32, 911pp.
257. **Vallotton, R. 1980.** Le nématode à kyste *Heterodera carotae*, un nouveau ravageur de la carotte en suisse romande. *Le Maraicher* 43: pp. 258-261.
258. **Valocká, B., Sabová, M., et Lišková, M. (1994).** Response of some winter wheat and spring barley cultivars to *Heterodera avenae* pathotype Ha 12. *Helminthologia*, 31, pp.155-158.
259. **Vanstone, V.A., Hollaway, G.J. et Stirling, G.R. 2008.** Gestion des nématodes ravageurs dans les régions du sud et de l'ouest de l'industrie céréalière

- australienne: progrès continus dans un environnement difficile. *Australasian Plant Pathology* 37, pp. 220–234.
260. **Vasudeva, R. S. 1958.** Rapport Division de mycologie et phytopathologie, Rept. agric. Res. Institute, New Delhi, 59, pp. 131-147.
261. **Viaene, N., Coyne, D.L. Et Davies, K.G. 2013.** Gestion biologique et culturelle. Dans: Perry, R.N. Et Moens, M. (Eds). *Nématologie végétale*, 2e édition. Wallingford, Royaume-Uni, CAB International, pp. 383-410.
262. **Wardlaw IF, Moncur L, 1995.** The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(3), pp.391–397.
263. **Whitehead, A. G. 1998.** Lutte contre les nématodes des plantes. CAB International Publishing, Wallingford, New York, p. 384.
264. **Wiese M.V. 1987.** Compendium des maladies du blé. Deuxième édition par l'Américain Société phytopathologique: 112 p.
265. **Williams, T.D. et Beane, J., 1982.** Variations des pertes de rendement des céréales associées à *Heterodera avenae* en Angleterre et au Pays de Galles1. *Bulletin de l'OEPP*, 12 (4), pp.485-490.
266. **Wollenweber, H.W. 1923.** Maladies et dommages à la pomme de terre. *Travaux de l'Institut de recherche sur la culture de la pomme de terre* 7, 52 p.
267. **Wollenweber, H.W. 1924.** À la connaissance des hétérodiens de la pomme de terre. *Journal agricole illustré* 44, pp. 100–101
268. **Wouts, W.W., Schoemaker, A., Sturhan, D. et Burrows, P.R. 1995.** *Heterodera spinicauda* sp. n. (Nematoda: Heteroderidae) des vasières des Pays-Bas, avec une clé des espèces du groupe *H. avenae*. *Nématologie* 41, pp. 575–583.
269. **Yan, G.P. et Smiley, R.W. 2009.** Distinguer *Heterodera filipjevi* et *H. avenae* en utilisant le polymorphisme de la longueur des fragments de restriction par réaction en chaîne par polymérase et la morphologie des kystes. *Phytopathology* 100, pp. 216–224.
270. **Yavuzaslanoglu, E., Elekçioğlu, I.H., Nicol, J.M., Yorgancilar, O., Hodson, D., Yildirim, F.A., Yorgancilar, A. et Bolat, B. 2012.** Distribution, fréquence et occurrence des nématodes des céréales sur le plateau anatolien central en Turquie et leur relation avec les propriétés physico-chimiques du sol. *Nematology* 14, pp. 839–854.

271. **Yavuzaslanoglu, E., Karaca, M. S., Sönmezoğlu, Ö. A., Atilla, Ö. C. A. L., Elekcioglu, H., et Aydoğdu, M. 2020.** Présence et abondance de nématodes des céréales dans les provinces de Konya et Karaman en Turquie. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 44 (2), pp. 223-236.
272. **Yousef, D.M. Et Jacob, J.J. 1994.** Une enquête sur les nématodes des cultures maraîchères et de certains vergers dans le Ghor de Jordanie. *Nematologia Mediterranea* 22, pp .11–15.
273. **Youssif, G.M. 1987.** Effet des populations d'*Heterodera avenae* dans les parcelles infestées de cultures de blé sur la croissance et le rendement des plantes. Résumés du dixième colloque sur les aspects biologiques de l'Arabie saoudite, 20-24 avril 1987, Djeddah, Arabie saoudite. [Résumé], pp, 183.
274. **Yu, Q., Ponomareva, E., Van Dyk, D., McDonald, M. R., Sun, F., Madani, M., et Tenuta, M. 2017.** Premier signalement du nématode à kyste de la carotte (*Heterodera carotae Jones*) des champs de carottes en Ontario, Canada. *Plant Disease*, 101, pp. 1056–1056.
275. **Zadok, J. C. et T. Chang. "T, et Konzack F .1974 .**Un code décimal pour le stade de croissance des céréales."
276. **Zancada, M. C., et Althöfer, M. V. 1994.** Effect of *Heterodera a Venae* On the Yield of Winter Wheat. *Nematologica*, 40(1-4), pp.244-248.
277. **Zhang, S.W., Gan, Y.T., Xua, B.L. Et Xue, Y.Y. 2014.** Les effets parasites et létaux de *Trichoderma longibrachiatum* contre *Heterodera avenae*. *Contrôle biologique* 72, pp.1-8.

RESEARCH/ INVESTIGACIÓN

MOLECULAR IDENTIFICATION AND PHYLOGENETIC DIVERSITY OF CEREAL CYST NEMATODES (*HETERODERA* SPP.) POPULATIONS FROM ALGERIA

K. Mehalaine¹, M. Imren², G. Özer², M. Hammache¹, A. A. Dababat^{3*}

¹Department of Zoology, High School of Agronomy, Hassen Badi, Oued Smar, 16051, El Harrach, Algeria; ²Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bolu Abant İzzet Baysal University, Golkoy, 14030, Bolu, Turkey; ³International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Emek, 06511, Ankara, Turkey; *Corresponding author: a.dababat@cgiar.org

ABSTRACT

Mehalaine, K., M. Imren, G. Özer, M. Hammache, and A. A. Dababat. 2020. Molecular identification and phylogenetic diversity of cereal cyst nematodes (*Heterodera* spp.) populations from Algeria. *Nematropica* 50:134-144.

Cereal cyst nematodes (CCN), *Heterodera* spp., are the most devastating plant-parasitic nematodes of cereals causing serious global economic losses. In this study, surveys to investigate plant-parasitic nematodes associated with wheat were performed in twenty fields in twelve provinces of Algeria in 2018. Cereal cyst nematodes were found in 41.6% of the investigated wheat fields. Forty-eight CCN populations from twenty locations were obtained and morphologically classified. To confirm the morphological classification, the internal transcribed spacer (ITS) of rDNA was amplified with F194/F195 primers, sequenced, and analyzed using BLASTn searches of the NCBI database. Populations were classified as *Heterodera avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae*, and *H. cruciferae*. *Heterodera carotae* and *H. cruciferae* are reported in Algeria for the first time from two and three surveyed locations, respectively. *Heterodera carotae* and *H. cruciferae* were grouped into a well-supported clade and close to populations from Italy and the Netherlands in the phylogenetic tree, respectively. *Heterodera hordecalis* and *H. avenae* were found in ten and five fields, respectively. Based on phylogenetic analysis, *H. hordecalis* showed high similarity to the Israeli population, whereas *H. avenae* populations from Algeria were found to have high similarity to the Spanish population. Due to the variation among the Algerian populations of *H. hordecalis* and *H. avenae*, it can be assumed they have been introduced into Algeria multiple times.

Key words: Cereal cyst nematodes, *Heterodera* spp., phylogeny, wheat

RESUMEN

Mehalaine, K., M. Imren, G. Özer, M. Hammache, y A. Dababat. 2020. Identificación molecular y diversidad filogenética de poblaciones del nematodo del quiste de los cereales (*Heterodera* spp.) en Algeria. *Nematropica* 50:134-144.

Los nematodos del quiste de los cereales (NQC), *Heterodera* spp., son de los nematodos parásitos de plantas más devastadores en cereales, causando serias pérdidas económicas a nivel global. En este estudio, se investigaron los nematodos parásitos de plantas asociados a 20 campos de trigo en 12 provincias de Algeria en el 2018. Los nematodos del quiste de los cereales se encontraron en un 41,6% de los campos de

trigo investigados. Se obtuvieron 48 poblaciones de NQC procedentes de 20 localidades y se clasificaron morfológicamente. Para confirmar lo obtenido en la clasificación morfológica, la región espaciadora transcrita interna (ITS) del ADN ribosomal se amplificó con los imprimadores F194/F195, se secuenció y analizó por medio del BLASTn de la base de datos del NCBI. Por consiguiente, las poblaciones se clasificaron como *Heterodera avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae*, y *H. cruciferae*. *Heterodera carotae* y *H. cruciferae* se identificaron por primera vez en Algeria en dos y tres localidades, respectivamente. En el árbol filogenético, *Heterodera carotae* y *H. cruciferae* se agruparon en un clado con un alto respaldo, y cercano a poblaciones originarias de Italia y Holanda, respectivamente. *Heterodera hordecalis* y *H. avenae* se encontraron en diez y cinco campos de trigo, respectivamente. Basados en el análisis filogenético, *H. hordecalis* mostró una alta similitud con la población Israelí, mientras que las poblaciones de *H. avenae* de Algeria presentaron una alta similitud con la población Española. Debido a la variación entre las poblaciones de *H. hordecalis* and *H. avenae* procedentes de Algeria, se puede asumir que han sido introducidas al país multiples veces.

Palabras clave: Nematodo del quiste de los cereales, *Heterodera* spp., filogenia, trigo

INTRODUCTION

Cereal grains have been an integral part of human nutrition for thousands of years and have played an important role in establishing human civilization. Cereal crops account for more than 70% of the area used for food crops (Riley *et al.*, 2009). In 2017, wheat (*Triticum aestivum* L.) was cultivated on more area than any other commercial crop with 218.4 million ha, and continues to be the most important food grain source for humans (FAOSTAT, 2020). Due to the increase in the world population, global demand for wheat is estimated at 860 million tons per year in 2025 (Marathee and Gomez-MacPherson, 2001). In Algeria, cereals are cultivated in semi-arid areas on over 3 million ha. In 2017, total cereal production yielded 3.5 million tons, which is 17% below the previous five-year average (2012-2016) and 5% above the 2016 average (FAOSTAT, 2020). Unfortunately, this amount is still insufficient to meet the demand of the growing population in Algeria. Cereal production is often faced with various biotic and abiotic constraints, such as soil nutrient deficiencies, insufficient irrigation facilities, as well as the incidence of diseases, insect pests, and plant-parasitic nematodes (PPNs) (Shroyer *et al.*, 1990).

Among the biotic stress, PPNs generally are important factors associated with decreasing global agricultural yields (Brown, 1984; Nicol *et al.*, 2002). The cereal cyst nematodes (CCN), of the genus *Heterodera*, are widespread and one of the most important groups of PPNs threatening global cereal production (Rivoal and Cook, 1993; Dababat and Fourie, 2018). The genus *Heterodera*

includes 62 species attacking crops including cereals and grasses (Wouts and Baldwin, 1998; Yan and Smiley, 2009). Twelve species can affect the roots of cereal; however, three species (*Heterodera avenae*, *H. latipons*, and *H. filipjevi*) are the most economically important (Rivoal and Cook, 1993; Dababat and Fourie, 2018). *Heterodera avenae* is thought to be the most important nematode species limiting cereal production in North Africa (Rammah, 1994; Namouchi-Kachouri and B'Chir, 2005; Mokriani *et al.*, 2009, 2017; Dababat *et al.*, 2015; Dababat and Fourie, 2018). This nematode was first reported in Algeria by Scotto La Massese (1962) and then by Lamberti *et al.* (1975). Moreover, the presence of this species in various cereal-growing areas of Algeria has also been noted in recent studies (Mokabli *et al.*, 2001, 2002; Tirchi *et al.*, 2016). More recently, *H. hordecalis* has also been shown to be present in cereal fields located in Batna, Setif, Tlemcen, and Tiaret provinces of Algeria for the first time (Smaha *et al.*, 2018).

Morphometric and morphological characteristics are commonly used to identify *Heterodera* species, however, the determination of these characteristics is laborious, time-consuming and may be highly variable depending on conditions of culture and incubation. Molecular techniques based on the polymerase chain reactions (PCR) have been widely used to overcome these bottlenecks in nematode identification and have provided precise results (Toumi *et al.*, 2013; Yan *et al.*, 2013). Subbotin *et al.* (2001) indicated that the sequence variation in the internal transcribed spacer (ITS) region of ribosomal DNA provided useful information to identify many nematode taxa,

including CCN. To our knowledge, the description of Algerian CCN populations has only been conducted using morphological tools (Mokabli *et al.*, 2001, 2002; Haddadi *et al.*, 2013); consequently, there is no information on genetic traits of CCN populations in Algeria. Therefore, a comprehensive survey was performed in wheat-growing areas in northern Algeria to: i) determine the prevalence and distribution of CCN in the surveyed areas, ii) identify *Heterodera* species, and iii) evaluate the phylogenetic relationships among the *Heterodera* populations based on variation in ITS sequences.

MATERIALS AND METHODS

Nematode population collection

This study was conducted between mid-June and mid-August in 2018. Forty-eight soil samples from 12 provinces in Algeria were collected (Fig. 1). Soil samples were collected in a zigzag pattern with separation of 10-20 km distance from each location. A minimum of 10 cores was taken per sample, then soil was mixed, and a representative

of 1-kg sample was retained. The samples were taken with a soil auger to a depth of 20 cm. The Fenwick can technique was used to extract cysts from 250 g soil per sample (Fenwick, 1940). Cysts collected on a 250- μ m sieve were picked by hand using a dissecting needle under a V20 stereobinocular microscope (Zeiss, Jena, Germany). Collected cysts were surface disinfected with a 0.1% NaOCl solution for 5 min followed by triple rinsing with sterile ultra-pure water. Air-dried cysts were transferred into a 1.5 ml Eppendorf tube and stored at 4°C until further identification and molecular studies.

Molecular identification of nematodes

Cysts were crushed using a microhomogenizer (Vibro mixer El, Chemap AG, Switzerland) to release second-stage juveniles (J2) into 10 μ l of double-distilled water. The J2 were homogenized using a micro-homogenizer, and then the entire lysate was transferred to a 1.5-ml Eppendorf tube. Ten μ l of 1x PCR reaction mix [75 mM Tris-HCl (pH 8.8), 20 mM (NH₄)₂SO₄, 0.01% (v/v) Tween 20] and 2 μ l of proteinase K

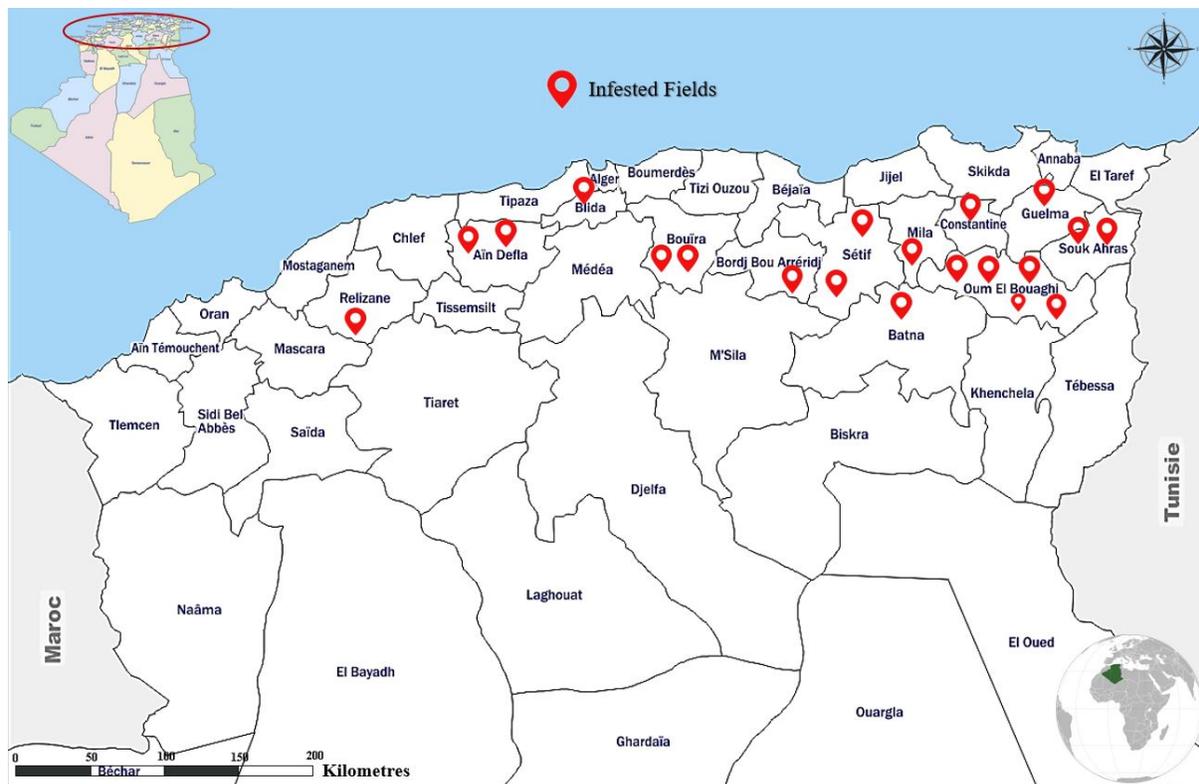


Figure 1. Map of northern Algeria showing the twelve provinces where the survey was conducted. The markers indicate the fields infested with *Heterodera* populations.

(600 µg/ml; Qiagen GmbH, Hilden, Germany) were added to the lysate. The tube was incubated at 60°C for 30 min, and then 5 min at 95°C. The tube was centrifuged at 16,000 rpm for 1 min and the supernatant was carefully removed without disturbing the pellet, transferred to another Eppendorf tube, and stored at -20°C until further use.

PCR amplification was conducted with F194 (5'-CGT AAC AAG GTA GCT GTA G-3') and F195 (5'-TCC TCC GCT AAA TGA TAT G-3') primers described by Ferris *et al.* (1994) to amplify the ITS region including the ITS1, ITS2, and 5.8S ribosomal gene, as well as parts of the 18S and 28S ribosomal genes using a T100 thermal cycler (Bio-Rad, California, USA). The amplifications were carried out in a 25 µl final reaction volume including 2.5 µl of the supernatant, 200 µM of each dNTPs, 0.5 µM of each primer, 1x *Taq* reaction buffer, 1.5 mM MgCl₂ and 1 U Dream *Taq* DNA polymerase (Thermo Fisher Scientific, USA). The amplification conditions for the ITS region were 3 min for an initial denaturation step at 94°C, followed by 35 cycles with denaturation for 30 s at 94°C, annealing for 30 s at 60°C, an extension for 60 s at 72°C and a final extension at 72°C for 10 min. A negative control (no template DNA) was used to ensure that there was no contamination in the reaction mix. Following DNA amplification, 5

µl of each PCR product was mixed with 1 µl 6x loading dye and loaded in 1x TAE buffer (Sambrook *et al.*, 1989) on a 1.2% agarose gel. After electrophoresis for 60 min at 100 V and 100 mA, the DNA fragments were stained with ethidium bromide (0.02 µg/ml) for 10 min. The gel was imaged using a G: BOX F3 gel doc system (Syngene, UK) after ethidium bromide staining to control for the presence of the fragments.

The amplified ITS fragments were purified using the QIAquick PCR purification kit (Qiagen GmbH, Hilden, Germany) and subjected to bidirectional sequencing by a commercial company (Macrogen, Inc., Seoul, Korea) using an ABI 3500xL Genetic Analyzer. The sequences were identified using the BLASTn algorithm on the NCBI website (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). The sequences derived from this study were deposited in the GenBank database with the Accession numbers shown in Table 1.

Phylogenetic analysis

The ITS sequences were used to explore intraspecific genomic variability of *Heterodera* species and to determine phylogenetic relationships among the collected populations and to representative *Heterodera* populations from different countries available in the GenBank

Table 1. Geographical locations of *Heterodera* species from northern Algeria with their accession numbers.

No.	Province	Location	Species	Accession No.
1	Oum Bouaghi	Oum Bouaghi	<i>H. hordecalis</i>	MK848400
2	Oum Bouaghi	Ain Melila 1	<i>H. hordecalis</i>	MK840641
3	Oum Bouaghi	Ain Melila 2	<i>H. hordecalis</i>	MK848401
4	Oum Bouaghi	Ain Melila 3	<i>H. hordecalis</i>	MK840638
5	Oum Bouaghi	Meskiana	<i>H. cruciferae</i>	MK848395
6	Batna	Seriana	<i>H. hordecalis</i>	MK840640
7	Constantine	Constantine a	<i>H. avenae</i>	MK848396
8	Bouira	Ain Bessem	<i>H. hordecalis</i>	MK848399
9	Bouira	El Asnem	<i>H. avenae</i>	MK840645
10	Bourdj Bou Ariridj	El Achir	<i>H. hordecalis</i>	MK840642
11	Ain Defla	Khmiss Meliana	<i>H. cruciferae</i>	MK848393
12	Ain Defla	Bordj Khaled	<i>H. hordecalis</i>	MK848402
13	Guelma	Guelma	<i>H. hordecalis</i>	MK840637
14	Mila	Tadjenanet 2	<i>H. carotae</i>	MK840644
15	Relizane	Relizane	<i>H. cruciferae</i>	MK848394
16	Souk Ahrass	Merahna	<i>H. hordecalis</i>	MK840639
17	Souk Ahrass	Merahna	<i>H. carotae</i>	MK840643
18	Algiers	Oued Semar	<i>H. avenae</i>	MK840646
19	Setif	Hammem Sokhna 1	<i>H. avenae</i>	MK848397
20	Setif	Hammem Sokhna 2	<i>H. avenae</i>	MK848398

database. A total of 24 nucleotide sequences were included in the phylogenetic analysis that was conducted using MEGA7 (Kumar *et al.*, 2016). The evolutionary history was inferred using the neighbor-joining method (Saitou and Nei, 1987), based on evolutionary distances computed using the Tamura-Nei method (Tamura and Nei, 1993). Bootstrap support was calculated for all analyses using 1,000 replicates (Felsenstein, 1985).

RESULTS

Occurrence of Heterodera spp. in Algeria

Twenty fields (41.6%) out of the 48 cereal surveyed fields in 12 provinces were infested with cyst nematodes. The highest infestation rates were recorded from the following provinces; Bourdj Bou Ariridj (100%), Setif (67%), Oum Bouaghi, Relizane and Ain Defla (50%), Bouira (40%), Mila, Algiers, Batna, and Constantine (33.3%), and Souk Ahrass (17%) (Fig. 1).

Full and empty cysts were found in several fields. CCNs were detected in most of the fields especially where wheat and barley monoculture is practiced such as in Setif, Oum Bouaghi, Relizane, Ain Defla, Bouira, Mila, Algiers, Batna, Constantine, and Souk Ahrass provinces. The degree of infestation was variable depending on the field and the location within a field and ranged from 11 cysts/kg of soil in the field of Bordj Khaled

in Ain Defla province to 128 cysts/kg of soil in the field of El Achir in Bourdj Bou Ariridj. The degree of infestation of soil samples for the surveyed location is shown in Figure 2. Bourdj Bou Ariridj was infested by *Heterodera* spp. with the highest infestation rate (100%), followed by Setif (67%), while the lowest infestation rate was recorded in Souk Ahrass with 16%.

Molecular identification

The ITS regions of the 20 nematode populations were successfully amplified using the F194/F195 primers pair. For all populations, the primers yielded a single fragment of approximately 1,040 bp. No PCR products were obtained from the negative control, which lacked a DNA template. The results of sequencing and BLAST analysis indicated that the populations were identified as *H. avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae*, and *H. cruciferae*. Ten cyst populations collected from Oum Bouaghi, Ain Melila 1, Ain Melila 2 and Ain Melila 3, Seriana, Ain Bessem, El Achir, Bordj Khaled, Guelma b, and Merahna locations were identified as *H. hordecalis*. *Heterodera avenae* was detected from five fields from Constantine, El Asnem, Oued Semar, Hammem Sokhna 1, and Hammem Sokhna 2. *Heterodera carotae* and *H. cruciferae* are reported in Algeria, for the first time in this study. *Heterodera carotae* was discovered in Tadjenanet 2 and Merahna, while *H. cruciferae*

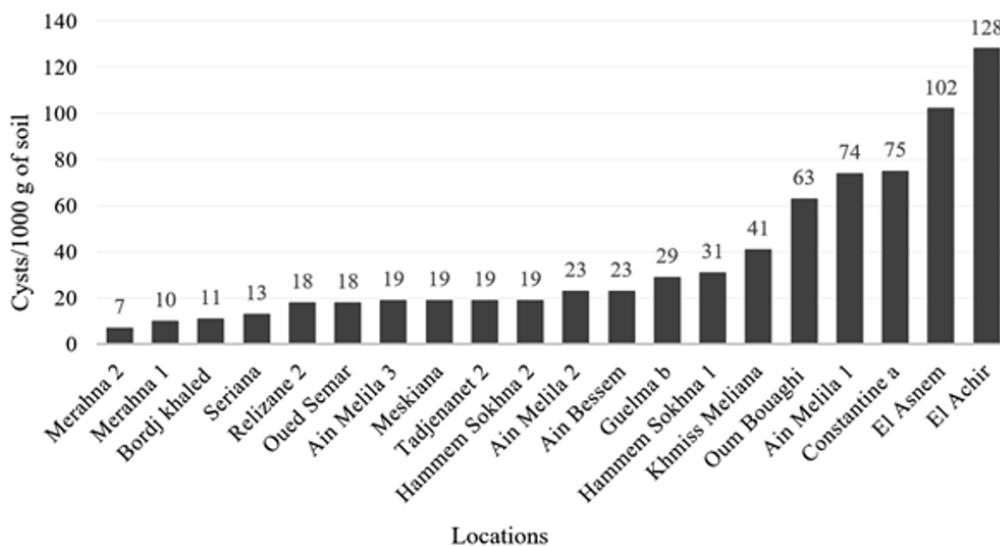


Figure 2. Number of *Heterodera* spp. cysts/kg of soil samples from the fields surveyed in Algeria.

was found in Meskiana, Khmiss Meliana, and Relizane (Table 1).

Phylogenetic analysis

The phylogenetic analysis based on ITS sequences clustered the populations from 12 geographically sites according to species (Fig. 3). The phylogenetic relationship of cyst nematode populations belonging to *H. avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae*, and *H. cruciferae* were compared to data from other geographical locations.

The *Heterodera* populations investigated in our study were divided into three groups in a phylogenetic tree based on the ITS1, ITS2, and 5.8S rDNA sequences. All groups formed distinct clades supported by high bootstrap values (99–100%) (Fig. 3). Group I was comprised of *H. hordecalis* populations (MK840637, MK840639, MK848402, MK840642, MK848399, MK840640, MK840638, MK848401, MK848400, and MK840641). Group II included the *H. avenae* populations (MK840646, MK848396, MK840645, MK848397, and MK848398). Within this group, the Algeria 46 population was distinct from the rest of the group (Algeria 03, 04, 47, and 48), indicating the existence of a subgroup formation in Group II. The sequences of Group II populations were 98%

similar to the ITS sequence of the population from northern Algeria, suggesting that they might be the same pathotype. *Heterodera avenae* populations from Algeria had high similarity with a Spanish population (AY148354), whereas the *H. hordecalis* populations exhibited a high similarity with an Israeli population (AY347923). Group III included two *H. carotae* populations (MK840643 and MK840644) and three *H. cruciferae* populations (MK848393, MK848394, and MK848395). The *Heterodera carotae* and *H. cruciferae* populations were similar to populations from Italy (AY347917) and the Netherlands (AF274411), respectively. *H. carotae* and *H. cruciferae* formed a well-supported clade with the corresponding populations.

DISCUSSION

Wheat is an essential component in the Algerian diet, however, production in the country is insufficient to feed the population. Therefore, increasing wheat yield is a priority either by increasing the cultivated area or increasing yield per unit area by reducing abiotic and biotic stress. A survey was conducted in northern Algeria to determine which CCNs exist in the region. A total of 48 cereal fields in 12 provinces were sampled. The results showed that 41.6% of wheat fields in the provinces were infested with CCNs. The degree of CCN infestations varied widely depending on the cultivation system in the surveyed fields. Sharma *et al.* (2007) and Renčo and Cereukoua (2008) reported that the repeated cultivation of cereals in the same field contributes to the explosion of cyst nematode populations, which may explain the high infestations in Ain Melila-1, Oum Bouaghi, Constantine, Al Achir, and Khmiss Meliana. Fallow or non-host plant cultivation in fields infested with these nematodes have been recommended to reduce nematode population densities in soil, so the low infestation rate in the remaining provinces may have resulted from the previous crop (Brown, 1984; Griffin, 1988; Rivoal and Bourdon, 2005).

This study provides new information on the distribution and occurrence of *H. avenae*, *H. hordecalis*, *H. carotae*, and *H. cruciferae* in the main wheat-growing areas in northern Algeria. *Heterodera hordecalis* was detected in wheat fields in Batna, Tiaret, Tlemcen, Setif, and Sidi Bel Abbes for the first time (Smaha *et al.*, 2018). The contamination of various cereal-growing areas of

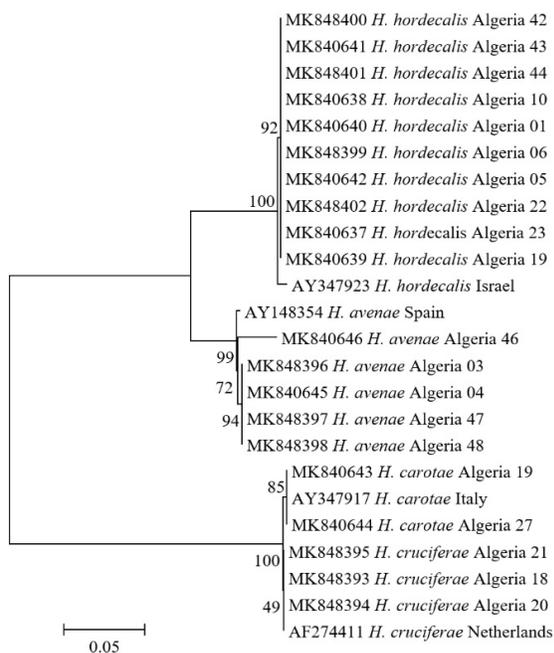


Figure 3. Phylogenetic tree of *Heterodera* spp. populations from north Algeria.

Algeria with *H. avenae* was also reported in previous studies (Mokabli *et al.*, 2002; Tirchi *et al.*, 2016). Smaha *et al.* (2018) found that *H. avenae* was the most common species found in 23% of wheat fields in 16 locations in Algeria. Mokabli *et al.* (2002) reported the presence of both species *H. avenae* and *H. latipons* in other regions of Algeria such as Béjaia, Dar El Beida, Mascara, Relizane, and Setif. Assia *et al.* (2019) reported that most of the localities in the Relizane region were infested with *H. avenae*, *H. latipons*, *H. hordecalis*, *H. mani*, and *H. filipjevi*, with a dominance of *H. avenae* (93% of the municipalities surveyed). A recent study by Smaha *et al.* (2019) showed that 23% of samples studied were infested by *H. avenae*, while *H. hordecalis* was observed in 7% of the samples collected. *Heterodera filipjevi* was the least frequent cyst nematode detected in the sampled areas (2%). Our study revealed that *H. avenae* was more extensive than the finding of previous reports. *Heterodera latipons* was not found in the sampled fields.

The ITS region has been commonly used to discriminate nematode species, including in the genus *Heterodera*, and to reveal intraspecific polymorphism among certain isolates belonging to one species (Subbotin *et al.*, 2003; Baklawa *et al.*, 2015; Imren *et al.*, 2015; Mokrini *et al.*, 2017). In this study, phylogenetic analysis based on the ITS sequences provided useful information to separate species. Additionally, little variation among Algerian populations of *H. avenae* was observed, a result which is compatible with previous studies examining the polymorphism among *H. latipons* and *H. avenae* populations obtained from several cereal areas (Bekal *et al.*, 1997; Subbotin *et al.*, 1999; Rivoal *et al.*, 2003; Madani *et al.*, 2004; Imren *et al.*, 2015). Subbotin *et al.* (2003) reported that *H. avenae* populations from Africa, Europe, and Asia formed several clusters based on the ITS region. Baklawa *et al.* (2015) showed a grouping of the *H. avenae* complex into one cluster, with a high bootstrap value. Additionally, Abidou *et al.* (2005) could not determine any intraspecific polymorphism among *H. avenae* populations from Syria and France. Imren *et al.* (2015) reported an intraspecific polymorphism based on the ITS sequences observed in *H. avenae* populations from the eastern Mediterranean region of Turkey. However, Mokrini *et al.* (2017) grouped *H. avenae* populations from different parts of Morocco into one cluster with high similarity.

No polymorphism among *H. hordecalis* populations was found in this study. Similarly, the study performed by Smaha *et al.* (2018) clustered *H. hordecalis* populations from Algeria into one group with a high bootstrap value. Madani *et al.* (2018) demonstrated the 100% nucleotide identity of the ITS sequences of *H. hordecalis* isolates from Italy and Russia. In this study, similarly, all Algerian *H. hordecalis* populations grouped in the same clade with a high bootstrap value.

Heterodera carotae is a highly specialized endoparasitic cyst nematode infecting both cultivated and wild carrots as well as the hedge parsley (*Torilis leptophylla* L.) and is responsible for carrot decline in several countries (Jones, 1950; Subbotin *et al.*, 2010). Compared to other cyst nematodes, *H. carotae* has a very limited host range. The nematode is mainly restricted to cultivated and wild carrots (Jones, 1950) and other *Daucus* spp. within the Apiaceae. However, other plants, such as *Torilis arvensis* (Hudson), which is a species of flowering plant in the family Apiaceae and known by the common name “spreading hedgeparsley”, may act as a reservoir for cyst nematode survival (Vallotton, 1980; Subbotin *et al.*, 2010). *Heterodera carotae* caused serious yield loss ranging from 20 to 90% in carrots cultivated in Italy (Greco *et al.*, 1994). Distribution of this pathogen has been determined in South Africa, Europe, Cyprus, India, USA, and Canada (Berney and Bird, 1992; Subbotin *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2017; Madani *et al.*, 2018). This study detected *H. carotae* for the first time in Tadjenamet-2 and Merahna provinces in northern Algeria. Two populations of *H. carotae* grouped with a bootstrap value of 96%. These populations were similar to a *H. carotae* population from Italy (AY347917) in the phylogenetic tree. Therefore, *H. carotae* populations found in this study are thought to have originated from other plant roots in these fields such as weeds in the Apiaceae family.

Heterodera cruciferae is reported for the first time from Meskiana, Khmiss Meliana, and Relizane 2 province in northern Algeria. This nematode attacks different species of Cruciferae and causes losses in crop productivity (Subbotin *et al.*, 2010). *Heterodera cruciferae* has been reported from cabbage-growing areas in the USA (California), Europe, South Australia, Iran, and Eastern Azerbaijan (Stone and Rowe, 1976; Whitehead, 1998; Sturhan and Liskova, 2004; Jabbari and Niknam, 2008). The length of ITS

fragments of *H. cruciferae* population obtained from this study corresponded to the fragment of a *H. cruciferae* population (AF274411) from the Netherlands. The ITS sequences of *H. cruciferae* populations were different in three nucleotides from those of the *H. carotae* populations in this study. Subbotin *et al.* (2001) and Madani *et al.* (2004) reported the high similarity between nucleotide sequences of *H. cruciferae* and *H. carotae*. Chizhov *et al.* (2009) indicating that the *H. cruciferae* population from Moscow grouped in a clade with a *H. carotae* population in GenBank. Shubane (2018) indicated a high nucleotide similarity of 99% between *H. cruciferae* and *H. carotae* in South Africa. *Heterodera cruciferae* has been reported from Europe, Russia, California, and South Australia (Stone and Rowe, 1976; Whitehead, 1998), as well as Turkey (Mennan *et al.*, 2006; Mennan and Handoo, 2006). *Heterodera cruciferae* is not a major pest and its host range is limited to Cruciferae (nearly all genera), and some weeds and members of Labiaceae. Therefore, *H. cruciferae* samples found in the present study may have been associated with the roots of cruciferous weeds growing in wheat fields.

Surveys conducted over the past two decades have reported the presence of cyst nematodes of the genus *Heterodera* in almost all cereal zones in northern Algeria (Smaha *et al.*, 2018). The presence of *Heterodera* species in wheat-growing regions could be a limiting factor to wheat production in Algeria. If we consider the number of eggs (more than 600) contained in a cyst (Siddiqui, 2000), the levels of infestation noted in most locations can be described as high with the potential to affect wheat yield. Wheat has an important socio-economic value for Algeria, further detailed nematode surveys in other wheat-growing areas are needed. The population densities of *Heterodera* species should be suppressed to keep their population densities below threshold levels by appropriate management measures using resistant wheat varieties and applying proper crop rotation.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was funded by the Soil Borne Pathogens program at the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT-TURKEY).

LITERATURE CITED

- Abidou, H., A. El-Ahmed, J. M. Nicol, N. Bolat, R. Rivoal, and A. Yahyaoui. 2005. Occurrence and distribution of species of the *Heterodera avenae* group in Syria and Turkey. *Nematologia Mediterranea* 33:195-201.
- Assia, F. R., K. Righi, K. Boungab, and A. Mokabli. 2019. Study of the infestation of cereals by cyst nematodes *Heterodera* spp. and distribution of the species in question in western Algeria. *Cahiers Agricultures* 28:17.
- Baklawa, M., B. Niere, H. Heuer, and S. Massoud. 2015. Characterization of cereal cyst nematodes in Egypt based on morphometrics, RFLP and rDNA-ITS sequence analyses. *Nematology* 17:103-115.
- Bekal, S., J. P. Gauthier, and R. Rivoal. 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.
- Berney, M. F., and G. W. Bird. 1992. Distribution of *Heterodera carotae* and *Meloidogyne hapla* in Michigan carrot production. *Journal of Nematology* 24:776-778.
- Brown, R. H. 1984. Cereal cyst nematode and its chemical control in Australia. *Plant Disease* 68:922-928.
- Chizhov, V. N., M. V. Pridannikov, L. V. Nasonova, and S. A. Subbotin. 2009. *Heterodera cruciferae* Franklin, 1945, a parasite of *Brassica oleraceae* L. from flood land fields in the Moscow region, Russia. *Russian Journal of Nematology* 17:107-113.
- Dababat, A. A., and H. Fourie. 2018. Nematode Parasites of Cereals. Pp. 163-221 in R. A. Sikora, D. Coyne, J. Hallmann, and P. Timper (eds.) *Plant parasitic nematodes in subtropical and Tropical agriculture*, Wallingford, UK: CAB International.
- Dababat, A. A., M. Imren, G. Erginbas-Orakci, S. Ashrafi, E. Yavuzaslanoglu, H. Toktay, S. R. Pariyar, H. I. Elekcioglu, A. Morgounov, and T. Mekete. 2015. The importance and management strategies of cereal cyst nematodes, *Heterodera* spp., in Turkey. *Euphytica* 202:173-188.
- FAOSTAT 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online: <http://www.fao.org/faostat/en>

- Felsenstein, J. 1985. Phylogenies and the comparative method. *The American Naturalist* 125:1-15.
- Fenwick, D. W. 1940. Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera schachtii* from soil. *Journal of Helminthology* 18:155-172.
- Ferris, V. R., J. M. Ferris, J. Faghihi, and A. Ireholm, 1994. Comparisons of isolates of *Heterodera avenae* using 2-D PAGE protein patterns and ribosomal DNA. *Journal of Nematology* 26:144-151.
- Greco, N., T.D. Addabbo, A. Brandonisio, and F. Elia. 1994. Damage to Italian crops caused by cyst-forming nematodes. *Journal of Nematology* 25:836-842.
- Griffin, G. D. 1988. Factors affecting the biology and pathogenicity of *Heterodera schachtii* on sugar beet. *Journal of Nematology* 20:396-404.
- Haddadi, F., A. Mokabli, and R. W. Smiley. 2013. Characterization of virulence reactions for *Heterodera avenae* populations from two localities in Algeria. *Phytoparasitica* 41:449-456.
- Imren, M., L. Waeyenberge, N. Viaene, İ. H. Elekcioglu, and A. Dababat. 2015. Morphological and molecular identification of cereal cyst nematodes from the eastern Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry* 39:91-98.
- Jabbari, H., and G. Niknam. 2008. SEM observations and morphometrics of the cabbage cyst nematode, *Heterodera cruciferae* Franklin, 1945, collected where *Brassica* spp. are grown in Tabriz, Iran. *Turkish Journal of Zoology* 32:253-262.
- Jones F. G. W. 1950. A new species of root eelworm attacking carrots. *Nature* 165:81.
- Kumar, S., G. Stecher, and K. Tamura. 2016. MEGA7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution* 33:1870-1874.
- Lamberti F., N. Greco, and H. Zaouchi. 1975. Etude sur les nématodes chez les palmiers dattiers et autres cultures importantes en Algérie. *BulletinPhytoparasitaire FAO* 23:156-161.
- Madani, M., N. Vovlas, P. Castillo, S. A. Subbotin, and M. Moens. 2004. Molecular characterization of cyst nematode species (*Heterodera* spp.) from the Mediterranean Basin using RFLPs and sequences of ITS-rDNA. *Journal of Phytopathology* 152:229-234.
- Madani, M., J. E. Palomares-Rius, N. Vovlas, P. Castillo, and M. Tenuta. 2018. Integrative diagnosis of carrot cyst nematode (*Heterodera carotae*) using morphology and several molecular markers for an accurate identification. *European Journal of Plant Pathology* 150:1023-1039.
- Marathee, J. P., and H. Gomez-MacPherson. 2001. Future world supply and demand. Pp. 1107-1116 in A. P. Bonjean, W. J. Angus (eds.) *The World Wheat Book*. Hampshire, UK & Lavoisier, Paris: Intercept.
- Mennan, S., and Z. A. Handoo, 2006. Plant-parasitic nematodes associated with cabbages (*Brassica oleracea*) in the Samsun (middle black sea region) of Turkey. *Nematropica* 36:99-104.
- Mennan, S., Z. Handoo, and O. Ecevit. 2006. Distribution and infestation rates of cyst nematodes (*Heterodera* spp.) in cabbage-growing areas in Samsun, Turkey. Pp. 130-131 in XXVIII. Symposium of The European Society of Nematologists, Blagoevgrad, Bulgaria.
- Mokabli, A., S. Valette, and R. Rivoal. 2001. Différenciation de quelques espèces de nématodes à kystes des céréales par électrophorèse sur gel d'acétate de cellulose. *Nematologia Mediterranea* 29:103-108.
- Mokabli, A., S. Valette, J. P. Authier, and R. Rivoal. 2002. Variation in virulence of cereal cyst nematode populations from North Africa and Asia. *Nematology* 4:521-525.
- Mokrini, F., F. Abbad Andaloussi, Y. Alaoui, and A. Troccoli. 2009. Importance and distribution of the main cereal nematodes in Morocco. Cereal cyst nematodes: status, research and outlook. Pp. 45-50 in *Proceedings of the First Workshop of the International Cereal Cyst Nematode Initiative*, 21-23 October 2009, Antalya, Turkey: CIMMYT.
- Mokrini, F., N. Viaene, L. Waeyenberge, M. Afechtal, A. Essarioui, and M., Moens. 2017. The importance, biology and management of cereal cyst nematodes. *The Moroccan Journal of Agronomic and Veterinary Sciences* 5:414-421.

- Namouchi-Kachouri, N., and M. M. B'Chir. 2005. Identification morphométrique et moléculaire de quelques populations tunisiennes d'*Heterodera avenae* associées aux céréales. *Nematologia Mediterranea* 33:3–9.
- Nicol, J. M., R. Rivoal, N. Bolat, H. Aktas, H. J. Braun, M. Mergoum, A. F. Yildirim, A. Bagci, I. H. Eleckcioglu, and A. Yahyaoui. 2002. The frequency and diversity of the cyst and lesion nematode on wheat in the Turkish Central Anatolian Plateau. *Nematology* 4:272.
- Rammah, A., 1994. Cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Morocco. *Arab and Near East Plant Protection Newsletter* 19:40.
- Renčo, M., and A. Čerevková. 2008. Occurrence and geographical distribution of cyst nematodes in cereals and grassland in the Slovak Republic. *Helminthologia* 45:143–146.
- Riley, I., J. Nicol, and A. A. Dababat. 2009. Cereal cyst nematodes: Status, research and outlook. Proceedings of the First Workshop of the International Cereal Nematode Initiative, 21–23 October 2009, Antalya, Turkey.
- Rivoal, R., and P. Bourdon. 2005. Sélection du ray-grass d'Italie pour la résistance au nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*). *Fourrages* 184:557–566.
- Rivoal, R., and R. Cook. 1993. Nematode pests of cereals. Pp. 259–303 in I. K. Evans, D. L. Trudgill, J. M. Webster, eds. *Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture*. Wallingford, UK: CAB International.
- Rivoal, R., S. Valette, S. Bekal, J. P. Gauthier, and A. Yahyaoui. 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.
- Saitou, N., and M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution* 4:406–425.
- Sambrook, J., E. F. Fritsch, and T. Maniatis. 1989. *Molecular cloning: A laboratory manual* (2nd Ed.). Cold Spring, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Scotto La Massese, C. 1962. Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie. Journée d'Etude et d'Information. Association de Coordination Technique Agricole, FNGPC, Paris, 1–27.
- Sharma S. M., R. S. Sain, B. N. Mathur, G. L. Sharma, V. K. Bhatnagar, H. Singh, and R. L. Midha. 2007. Development and validation of the first cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) resistant wheat CCNRV1 for Northern India. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics* 39:1–16.
- Shroyer, J. P., J. Ryan, M. Abdel Monem, and M. El Mourid. 1990. Production of fall-planted cereals in Morocco and technology for its improvement. *Journal of Agronomic Education* 19:32–40.
- Shubane, A. R. 2018. A morphological and molecular study of *Heterodera carotae* Jones, 1950 in South Africa. Doctoral Dissertation, North-West University.
- Siddiqui M. R. 2000. *Tylenchida parasites of plants and insects*. CABI Publishing, UK.
- Smaha, D., F. Mokrini, M. Imren, A. Mokabli, and A. A. Dababat. 2018. First report of *Heterodera hordecalis*, a cereal cyst nematode, on wheat in Algeria. *Plant Disease* 102:2042.
- Smaha, D., F. Mokrini, M. Imren, A. Mokabli, A. Waifaya, and A. A. Dababat. 2019. Characterization of cereal cyst nematodes in Algeria based on morphology, morphometrics, species-specific primers and rDNA-ITS sequence analyses. *Journal of Plant Protection Research* 59:2019.
- Stone, A. R., and J. A. Rowe. 1976. *Heterodera cruciferae*. C.I.H. Descriptions of Plant-Parasitic Nematodes Set 6, No:90.
- Sturhan, D., and M. Liskova. 2004. Notes on morphology, taxonomic position, distribution and ecology of *Paratrophurus bursifer* (Tylenchida, Belonolaimidae). *Nematologia Mediterranea* 32:201–204.
- Subbotin, S. A., M. Mundo-Ocampo, and J. Baldwin. 2010. Systematics of cyst nematodes (nematode: Heteroderinae) *Nematology monographs and perspectives*. Pp. 68. Leiden-Boston: CAB International.
- Subbotin, S. A., A. Vierstraete, P. De Ley, J. Rowe, L. Waeyenberge, M. Moens, and J. R. Vanfleteren. 2001. Phylogenetic relationships within the cyst-forming nematodes (Nematoda, Heteroderidae) based on analysis sequences from the ITS regions of ribosomal DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 21:1–16.

- Subbotin, S. A., D. Sturhan, H. J. Rumpfenhorst, and M. Moens. 2003. Molecular and morphological characterization of the *Heterodera avenae* species complex (Tylenchida:Heteroderidae). *Nematology* 5:515-538.
- Subbotin, S. A., L. Waeyenberge, I. A. Molokanova, and M. Moens. 1999. Identification of *Heterodera avenae* group species by morphometrics and rDNA-RFLPs. *Nematology* 1:195-207.
- Tamura, K., and M. Nei. 1993. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. *Molecular Biology and Evolution* 10:512-526.
- Thompson, J. D., D. G. Higgins, and T. J. Gibson. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research* 22:4673-4680.
- Tirchi, N., A. Troccoli, E. Fanelli, A. Mokabli, F. Mouhouche, and F. D. Luca. 2016. Morphological and molecular identification of potato and cereal cyst nematode isolates from Algeria and their phylogenetic relationships with other populations from distant geographical areas. *European Journal of Plant Pathology* 146:861-880.
- Toumi, F., L. Waeyenberge, N. Viaene, A. Dababat, J. M. Nicol, F. Ogbonnaya, and M. Moens. 2013. Development of two species-specific primer sets to detect the cereal cyst nematode, *Heterodera avenae* and *Heterodera filipjevi*. *European Journal of Plant Pathology* 136:613-624.
- Vallotton, R. 1980. Le nématode à kyste *Heterodera carotae*, un nouveau ravageur de la carotte en suisse romande. *Le Maraicher* 43:258-261.
- Whitehead, A. G. 1998. *Plant Nematode Control*. Pp. 384. New York: CAB International Publishing.
- Wouts, W. M., and J. C. Baldwin. 1998. Taxonomy and identification. Pp. 83-122 in S.B. Sharma, ed. *The cyst nematodes*, London UK: Kluwer Academic Publishers.
- Yan, G. P., and R. W. Smiley. 2009. Discovery of *Heterodera filipjevi* on wheat in USA. Pp. 94-99 in I. T. Riley, J. M. Nicol, A. A. Dababat (eds.) *Cereal cyst nematodes: status, research and outlook*. Ankara, Turkey: (Eds) CIMMYT.
- Yan, G. P., R. W. Smiley, P. A. Okubara, and A. M. Skantar. 2013. Species-specific PCR assays for differentiating *Heterodera filipjevi* and *H. avenae*. *Plant Disease* 97:1611-1619.
- Yu, Q., E. Ponomareva, D. Van Dyk, M.R. McDonald, F. Sun, M. Madani, and M. Tenuta. 2017. First report of carrot cyst nematode (*Heterodera carotae* Jones) carrot fields in Ontario, Canada. *Plant Disease* 101:1056-1056.

Received:

2/V/2020

Accepted for publication:

2/VII/2020

Recibido:

Aceptado para publicación: