

أبىروهمبنا أبىرنازبنا أبىطارقمببنا أبىبببنا

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

قرازو مبلبنا بلبنا ثحبلاو بملبنا

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة - الحراش - رنازبنا

Thèse

EN VUE DE L'OBTENTION DU DOCTORAT EN SCIENCES

AGRONOMIQUES

Thème

**Etude des Nématodes à Kystes « *Heterodera* » Inféodés aux
Céréales et aux Légumineuses dans la Région de Médéa**

Présentée par M^{me} RAHIM Zohra.

Soutenue le : 11/04/2021

Devant le jury :

Président :	M. CHAKALI. G.	Professeur, E.N.S.A, El-Harrach, Alger.
Directeur de thèse :	M. MOKABLI. A.	Professeur, Université de Khemis Miliana.
Co-Promoteur :	M. HAMMACHE. M.	Professeur, E.N.S.A, El-Harrach, Alger.
Examineurs :	M ^{me} DAOUDI. H.	Professeur, E.N.S.A, El-Harrach, Alger.
	M ^{me} . TIRCHI. N.	Maitre de Conférences A, Univ. Khemis Miliana.
	M ^{me} . MECELLEM. D.	Maitre de Conférences A, Univ. Bouira.

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Toute notre gratitude et nos remerciements au bon Dieu qui nous a donné la force, le courage, la patience, l'amour du savoir et la volonté d'élaborer ce travail.

Ma profonde gratitude et mes vifs remerciements s'adressent d'abord à mon Directeur de thèse, Monsieur A. MOKABLI, professeur à l'Université de Khemis Miliana pour avoir accepté de diriger cette thèse, pour ses orientations dont j'ai bénéficié, ses conseils judicieux et son aide.

Mes gratitudes et mes remerciements à M. HAMMACHE, professeur à l'ENSA, d'El-Harrach pour avoir accepté d'évaluer ce travail, pour ses encouragements, son soutien et sa gentillesse.

J'exprime mon profond respect et mes vifs remerciements à Monsieur M. CHAKALI, Professeur à l'ENSA, pour avoir bien voulu me faire l'honneur de présider le jury.

Je remercie tout particulièrement Mme. H. DAOUDI, professeur au département de Zoologie Agricole et forestière à l'ENSA et Mesdames N. TIRCHI, Maitre de conférence A à l'université de Khemis-Miliana, et D. MECELLEM, maitre de conférence A à l'université de Bouira qui ont accepté d'évaluer mon travail.

Je remercie vivement toutes les personnes qui travaillent dans la ferme pilote de Si Achour de la région de Béni Slimane qui m'ont offert leur aide pendant de nombreuses sorties, et sans oublier aussi l'ensemble du personnel de D.S.A, D.R.E, D.G.F de la wilaya de Médéa et la subdivision agricole de la Daïra de Béni-Slimane.

A ces remerciements, je tiens à associer tous les enseignants et l'ensemble du personnel du Département des sciences de la nature et de vie et sciences de la terre de l'Université de Khemis Miliana pour leur soutien et leurs encouragements.

J'adresse également mon profond remerciement à l'ensemble du personnel du laboratoire de recherche de l'Université de Khemis-Miliana, particulièrement M^{elle} W. MEKHATI, technicienne de laboratoire pour avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour la réalisation du travail expérimental.

Une affectueuse pensée pour mes parents, mon mari, mes frères et sœurs pour leur compréhension et leur soutien lors de mes nombreuses sorties de terrain et pour m'avoir permis de faire des études me conduisant à présenter ce doctorat, leurs encouragements constants et pour leurs aides généreuses durant la période de recherche.

J'adresse mes plus sincères remerciements ainsi que le témoignage de mon plus profond respect à mon enseignant Monsieur MERROUCHE pour son aide de réalisation des analyses statistiques.

Mes remerciements vont enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à la réalisation de cette étude.

Liste des tableaux

Tableau 1. Superficie, Production et Rendement de Légumineuse alimentaire en Algérie.....	20
Tableau 2. Fréquence des gelées sur 27 ans (1986-2017).....	40
Tableau 3. Fréquence de la neige sur 27 ans (1986-2017).....	40
Tableau 4. Fréquence des orages sur 27 ans (1986-2017).....	40
Tableau 5. Fréquence de la grêle sur 27 années (1986-2017).....	41
Tableau 6. Fréquence du sirocco sur 27 années (1986-2017).....	41
Tableau 7. Fréquence des vents sur cinq ans (2008-2013).....	42
Tableau 8. ETP en mm de la commune de Béni-Slimane.....	42
Tableau 9. Pluviométrie mensuelle de la campagne (2016/2017).....	43
Tableau 10. Evaporation mensuelle de la campagne (2016/2017).....	43
Tableau 11. Aléas climatiques au nombre de jours.....	44
Tableau 12. Température moyenne mensuelle (2016/2017).....	44
Tableau 13. Statut juridique du foncier agricole et superficies.....	45
Tableau 14. Précédents cultureux des parcelles étudiées.....	51
Tableau 15. Fiche parcellaire de la culture du pois chiche.....	56
Tableau 16. Granulométrie et densité apparente du profil (A).....	76
Tableau 17. Granulométrie et densité apparente du profil (B).....	77
Tableau 18. Résultats d'analyses physico-chimiques du sol.....	78
Tableau 19. Nombre moyen de nématodes à kystes et nématodes filiformes trouvés tout au long du cycle végétatif de la variété Waha de blé dur dans le site I.....	81
Tableau 20. Nombre moyen de nématodes à kystes et nématodes filiformes trouvés tout au long du cycle végétatif de la variété Waha de blé dur dans le site II.....	82
Tableau 21. Les nématodes trouvés au stade maturation de la variété de blé dur Waha	92
Tableau 22. La densité de la population initiale, finale et le taux de multiplication des <i>Heterodera</i> sur les deux sites étudiés.....	95
Tableau 23. Test de Tukey du nombre moyen de nématodes à kyste total.....	100
Tableau 24. Test de Tukey du le nombre moyen de nématodes à kystes vides.....	101
Tableau 25. Test de Tukey sur le nombre moyen de nématodes à kystes pleins.....	102
Tableau 26. Test de Tukey sur le nombre moyen des nématodes phytoparasites trouvés dans la racine durant les cinq stades phénologiques des deux sites.....	103
Tableau 27. Test de Tukey sur le nombre moyen des nématodes filiformes trouvé dans le sol durant les cinq stades phénologiques des deux sites.....	104

Tableau 28. Test de Tukey sur le degré moyen d'infestation des nématodes phytoparasites trouvés dans les racines durant les cinq stades phénologiques des deux sites.....	105
Tableau 29. Evolutions du nombre de nématodes à kystes totaux, vides et pleins dans le sol des deux sites en fonction des dates de prélèvement.....	107
Tableau 30. Degré moyen d'infestation de nématodes à kystes au stade tallage dans le site I.	108
Tableau 31. Evolution du nombre moyen de nématodes phytoparasites dans les racines des deux sites en fonction des dates de prélèvement.....	109
Tableau 32. Valeurs moyennes des paramètres morphologiques pris en considération.....	111
Tableau 33. Test de Tukey au seuil de 5% sur la longueur de racines.....	112
Tableau 34. Valeurs moyennes des composantes des rendements pris en considération.....	113
Tableau 35. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade Tallage dans le site I.....	114
Tableau 36. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade tallage dans le site II.....	115
Tableau 37. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade maturation dans le site I.....	116
Tableau 38. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade maturation dans le site II.....	117
Tableau 39. Matrice de corrélation obtenue à partir des genres de nématodes filiformes trouvés au stade maturation dans les racines de la variété Waha de blé dur.....	120
Tableau 40. Matrice de corrélation obtenue à partir des genres de nématodes trouvés au stade maturation dans le sol de la variété Waha de blé dur.....	121
Tableau 41. Importance du nombre de nématodes à kystes trouvés chez la variété Flipp du pois chiche dans le site I.....	123
Tableau 42. Importance du nombre de nématodes à kystes trouvés chez la variété Flipp du pois chiche dans le site II.....	124
Tableau 43. Densité de population initiale, finale et taux de multiplication des <i>Heterodera</i> spp. dans les deux sites.....	128
Tableau 44. Résultats d'évolutions du nombre de nématodes à kystes totaux, vides et pleins dans le sol des deux sites en fonction des dates de prélèvement.....	131
Tableau 45. Valeurs moyennes des paramètres morphologiques et composantes du	132

rendement pris en considération.....	
Tableau 46. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade levée dans les deux sites.....	124
Tableau 47. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade levée dans les deux sites.....	135

Liste des figures

Fig. 1 - Evolution de la production, consommation et stocks mondiaux des céréales.....	04
Fig. 2 - Production mondiale de blé en millions de tonnes.....	05
Fig. 3 - Superficie emblavée en céréales par espèce.....	06
Fig. 4 - Production céréalière par espèce.....	06
Fig. 5 - Evolution de la superficie et production du blé en Algérie.....	07
Fig. 6 - Estimation de la production moyenne et taille moyenne des exploitations.....	09
Fig. 7 - Evolution des superficies de blé dur, blé tendre et total céréales.....	10
Fig. 8 - Evolution de la production de céréales, blé dur et blé tendre dans la wilaya de Médéa.....	10
Fig. 9 - Les phases du cycle végétal du blé.....	12
Fig. 10 - Carte représentant les principales maladies du blé.....	13
Fig. 11 - Dissémination du pois chiche à travers l'ancien monde, de la plante annuelle.....	15
Fig. 12 - Evolution de la production, superficies et rendement de pois chiche dans le monde.....	16
Fig. 13 - Evolution de la production de légumes secs en Algérie entre 2016 et 2017, par type de légume (en milliers de quintaux).....	17
Fig. 14 - Superficie emblavée et production des légumineuses alimentaires, campagne 2017/2018.....	19
Fig. 15 - Rendement des légumineuses alimentaires de la campagne 2017/2018.....	20
Fig. 16 - Evolution de la superficie et de la production de légumes secs et du pois chiche dans la wilaya de Médéa.....	21
Fig. 17 - Cycle biologique d'un endoparasite sédentaire à kyste.....	26
Fig. 18 - Situation de la région de Nord centre au sein du territoire national.....	33
Fig. 19 - Situation géographique de la wilaya de Médéa.....	34
Fig. 20 - Carte d'occupation du sol de la wilaya de Médéa.....	35
Fig. 21 - Diagramme d'emberger de la wilaya de Médéa.....	36
Fig. 22 - Localisation de la commune de Béni-Slimane.....	37
Fig. 23 - Précipitation mensuelle dans la région de Béni-Slimane.....	38
Fig. 24 - Températures maximales, minimales et moyennes (1986-2019).....	39
Fig. 25 - Diagramme ombro-thèrmique de la station de Béni-Slimane.....	39
Fig. 26 - Pluviométrie mensuelle de la campagne (2016/2017).....	43
Fig. 27 - Evaporation mensuelle de la campagne (2016/2017).....	44
Fig. 28 - Température moyenne mensuelle de la campagne (2016/2017).....	45

Fig. 29 - Répartition de superficie agricole utile (SAU) en fonction des différents statuts juridiques.....	46
Fig. 30 - Carte d'occupation du sol de la plaine de Béni-Slimane.....	47
Fig. 31 - Localisation de la ferme pilote Si Achour.....	50
Fig. 32 - Extrait de la carte pédologique au 1/50.000 ^{ème} de l'étude de la plaine de Béni Sliman.....	52
Fig. 33 - Schéma de la méthode de prélèvement des échantillons élémentaires du sol et de racines.....	60
Fig. 34 - Taux de calcaire total trouvé dans les deux sites de la campagne (2016-2017).....	79
Fig. 35 - Conductivité électrique des deux sites (2016-2017).....	79
Fig. 36 - Taux de carbone et de matière organique.....	80
Fig. 37 - Evolution de la densité de population des deux sites en fonction des stades végétatifs du blé dur.....	88
Fig. 38 - Moyenne des pourcentages des kystes vides et pleins d' <i>Heterodera</i> en fonction des points prospectés (stade levée).....	89
Fig. 39 - Moyenne des pourcentages des kystes vides et pleins d' <i>Heterodera</i> en fonction des points prospectés (stade maturation).....	89
Fig. 40 - Moyenne des degrés d'infestation des <i>Heterodera</i> en fonction des sites étudiés (Stade maturation).....	90
Fig. 41 - Pourcentages des espèces trouvées par répétition dans les deux sites de la variété Waha de blé dur.....	93
Fig. 42 - Comparaison du taux d'infestation des sites étudiés par les populations d' <i>Heterodera</i> spp. entre la période levée et maturation.....	96
Fig. 43 - Comparaison du taux de multiplication des deux sites étudiés par les <i>Heterodera</i>	96
Fig. 44 - Variations des densités moyennes du groupe trophique des nématodes phytoparasites trouvés dans les racines en fonction du stade végétatif.....	98
Fig. 45 - Variations des densités moyennes du groupe trophique des nématodes filiformes dans le sol en fonction des stades végétatifs.....	99
Fig. 46 - Régression du nombre moyen de L ₂ /g de sol en fonction du nombre de kystes.....	105
Fig. 47 - Mode d'évolution de nématodes à kystes totaux et vides en fonction du temps de prélèvement.....	107
Fig. 48 - Régression du degré d'infestation (L ₂ /g de sol) en fonction des dates de prélèvement dans les deux sites de la variété Waha de blé dur.....	109
Fig. 49 - Les paramètres morphologiques considérés en fonction des sites.....	110

Fig. 50 – Résultats en Moyenne de la présence de nématodes phytoparasites attaquant les racines dans les deux sites.....	112
Fig. 51 – Résultats en Moyenne de la présence de nématodes phytoparasites attaquant les racines dans les deux sites.....	118
Fig. 52 – Résultats en moyenne de la présence de nématodes filiformes du sol dans les deux sites au stade maturation.....	120
Fig. 53 - Variations de la densité de population des deux sites en fonction des stades végétatifs du pois chiche.....	124
Fig. 54- Résultats en Moyenne des kystes vides et pleins d' <i>Heterodera</i> en fonction des points prospectés (stade levée).....	125
Fig. 55 – Résultats en Moyenne des kystes vides et pleins d' <i>Heterodera</i> en fonction des points prospectés (stade maturation).....	125
Fig. 56 - Moyenne des degrés d'infestation des <i>Heterodera</i> en fonction des sites étudiés (stade levée et maturation).....	126
Fig. 57 - Comparaison du taux d'infestation des sites étudiés par les populations d' <i>Heterodera</i> spp. entre la période levée et maturation.....	128
Fig. 58 - Régression du nombre moyen de L ₂ /g de sol en fonction du nombre de kyste pleins trouvés dans le sol.....	129
Fig. 59 - Les paramètres morphologiques et composantes du rendement considérés en fonction des sites.....	132

Liste des Photos

Photo. 01 - Profil pédologique (A).....	53
Photo. 02 - Profil pédologique (B).....	53
Photo. 03 - Croute calcaire.....	53
Photo. 04 - Prélèvement des échantillons du sol (blé dur et pois chiche).....	58
Photo. 05 - Mode de prélèvement du sol et des racines de blé dur.....	59
Photo. 06 - Les racines de blé dur (Epiaison).....	61
Photo. 07 - L'appareil de FENWICK.....	62
Photo. 08 - Les étapes d'extraction des kystes d' <i>Heterodera</i>	64
Photo. 09 - Dispositif de Cobb (1918) en cours d'extraction.....	67
Photo. 10 - Méthode d'extraction de (Baerman, 1917).....	68
Photo. 11 - Chambre à alcool avec les solutions utilisées.....	70
Photo. 12 - Technique de comptage des œufs et des larves d' <i>H. avenae</i>	73
Photo. 13 - Kyste d' <i>H. avenae</i> contenant des oeufs à différents stades embryologique et des larves L1 et L2 écloses.....	93
Photo. 14 - Parties antérieurs des nématodes identifiées dans la culture de blé dur.....	94
Photo. 15 - Les deux sites de la variété Waha de blé dur.....	117
Photo. 16 - Variété Flipp du pois chiche.....	135

Liste des abréviations

% : Pourcentage.

°C : Degré Celsius.

CNIS : Centre national de l'informatique et des statistiques

µm : Micromètre = 1×10^{-6} mètre.

dS.m-1 : Décisiemens par mètre

A : Argile.

AAEP : Apport d'Eau Potable.

AFNOR : Association Française de Normalisation.

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

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

APS : Algérie Presse Service.

CaCO₃ : Calcaire Total.

CCLS : Coopérative des Céréales et des Légumes Secs.

CE : Conductivité Electrique.

CO : Carbone organique.

DA : Dinar Algérien.

DGF : Direction Générale des forêts.

DINF : Degré d'Infestation de Filiformes du Sol.

DINFK : Degré d'Infestation de Kystes.

DRE : Direction des Ressources en Eau.

DSA : Direction des Services Agricoles.

EAC : Exploitations Agricoles Collectives.

EAI : Exploitations Individuelles.

EURL : Exploitation Uninomiale à Responsabilité Limitée.

FAO : Food and Agriculture Organization.

IFN : Inventaire Forestier National.

INPV : Institut National de Protection des Végétaux.

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

K : potassium

K₂O : oxyde de potassium.

Lf : Limon fin.

Lg : Limon grossier.

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

MO : Matière Organique.

NE/M² : Nombre d'Epis par Mètre Carré.

NG/E : Nombre de Grains par Epi.

NNFR : Nombre de Nématodes Filiformes des Racines.

NNFS : Nombre de Nématodes Filiformes de Sol.

NNKPH : Nombre de Nématodes à Kystes Pleins d'*Heterodera*.

NNKTH : Nombre de Nématodes à Kystes Total d'*Heterodera*.

NNKVH : Nombre de Nématodes à Kystes Vides d'*Heterodera*.

NP/M² : Nombre de Plants par Mètre Carré.

NT/M² : Nombre de Talles par Mètre Carré.

pH : Potentiel d'ionisation.

PMG : Poids de Milles Grains.

PNDA : Programme National de Développement Agricole.

RDT : Rendement.

SAD : Subdivision Agricole de la Daïra.

SAT : Superficie Agricole Totale.

SAU : Superficie Agricole Utile.

Sf : Sable fin.

Sg : Sable grossier.

SNAT : Schéma National d'Aménagement du Territoire.

SRAT : Schéma Régional d'Aménagement du Territoire.

USD : United States Dollars.

USDA : United States Department of Agriculture.

ONS : Office National des Statistiques

ONFAA : Observatoire national des filières agricoles et agroalimentaires.

RGA : Recensement général de l'agriculture.

ITGC : Institut technique des grandes cultures

Table des matières

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Première partie : Analyse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la culture céréalière

I.1. Introduction.....	04
I.2. Importance économique de céréales	04
I.2.1. Dans le monde.....	04
I.2.2. En Algérie.....	05
I.2.3. Dans la wilaya de Médéa.....	09
I.3. Cycle végétatif du blé.....	11
I.3.1. Période végétative.....	11
I.3.2. Période de reproduction.....	11
I.3.3. Période de maturation.....	12
I.4. Maladies des céréales.....	12
I.4.1. Principales maladies du blé.....	13

Chapitre II : Légumineuse, rotation et pois chiche

II.1. Introduction.....	14
II.2. Origine et répartition géographique.....	14
II.3. Situation de la culture du pois chiche.....	15
II.3.1. Dans le monde.....	15
II.3.2. En Algérie.....	16
II.4. Rotation.....	18
II.4.1. Définition.....	18
II.4.2. Avantages.....	18
II.4.3. Inconvénients d'un manque de rotation.....	18
II.5. Culture de rotation (Pois chiche).....	19
II.5.1. Evolution des superficies, production et rendement.....	19
II.6. Dans la Wilaya de Médéa.....	20
II.7. L'effet de la rotation sur la dynamique des populations <i>Heterodera spp.</i>	21

Chapitre III : Les nématodes parasites des plantes

III.1. Introduction.....	33
III.2. Les nématodes phytoparasites inféodés aux cultures céréalières.....	23
III.2.1. Les nématodes à kystes (Famille : <i>Heteroderidae</i>).....	23
III.2.2. Position systématique et taxonomique	23
III.2.3. Genre : <i>Heterodera</i>	24
III.2.4. Extension géographique.....	24
III.2.5. Morphologie et cycle de vie.....	25
III.2.5.1. Morphologie.....	25
III.2.5.2. Cycle de vie.....	25
III.2.5.3. Phénomène d'enkystement.....	26
III.2.5.4. La diapause.....	27
III.2.5.5. Le polymorphisme.....	27
III.2.5.6. L'écotype.....	27
III.2.5.7. Le pathotype.....	27
III.3. Mode de dissémination des nématodes phytoparasites.....	28
III.4. Facteurs influant au développement de nématodes.....	29
III.4.1. Facteurs abiotiques.....	29
III.4.2. Facteurs biotiques	30
III.4.3. Symptomatologie.....	30
III.4.4. Gestion de nématodes phytoparasites.....	31

Deuxième partie : Expérimentation.

Chapitre IV : Présentation de la région d'étude

IV.1. La wilaya de Médéa.....	33
IV.1.1. Situation régionale.....	33
IV.1.2. Situation géographique.....	33
IV.1.3. Superficie.....	35
IV.1.4. Climat	35
IV.2. Présentation du site expérimental.....	36
IV.2.1. Plaine de Béni-Slimane.....	36
IV.2.2. Caractéristiques climatiques de la période (1986-2019).....	37
IV.2.2.1. Diagramme Ombrothermique.....	39

IV.2.2.2. Autres phénomènes climatiques.....	40
IV.2.3. Caractéristiques climatiques de la campagne (2016/2017).....	43
IV.2.3.1. Régime pluviométrique.....	43
IV.2.3.2. Régime thermique.....	44
IV.2.4. Système de production agricole de la région d'étude.....	45
IV.2.4.1. Terres agricoles de la commune de Béni-Slimane.....	45
IV.2.4.2. Production végétale de la région de Béni-Slimane.....	46
IV.2.4.3. Production animale de la région de Béni-Slimane.....	47

Chapitre V : Matériel et méthodes

V.1. Introduction.....	48
V.2. Site expérimental.....	49
V.2.1. Conditions de réalisation.....	51
V.2.1.1. Précédent culturel.....	51
V.2.1.2. Caractéristiques du sol	51
V.2.2. Analyse physique du sol.....	52
V.2.2.1. Granulométrie et densité apparente.....	52
V.2.3. Analyse physico-chimique.....	54
V.2.4. Itinéraires techniques de la campagne (2016-2017).....	55
V.2.5. Itinéraires techniques de la campagne (2017-2018).....	56
V.3. Analyse nématologique.....	57
V.3.1. Collecte des échantillons du sol.....	58
V.3.2. Collecte des échantillons de la rhizosphère.....	58
V.3.3. Extractions des nématodes.....	62
V.3.3.1. Extraction des nématodes à kystes.....	62
V.3.3.2. Identification et comptage des kystes.....	64
V.3.4. Extraction des nématodes filiformes du sol.....	65
V.3.5. Extraction des nématodes filiformes de racines.....	68
V.3.6. Manipulation, montage et fixation des nématodes (sol et racine).....	69
V.3.7. Identification des nématodes (sol et racine).....	71
V.4. Effet du nématode sur les paramètres de croissance de la variété Waha de blé dur et Flipp du pois chiche.....	71
V.4.1. Caractères morphologiques de la variété Waha.....	71
V.4.2. Composantes du rendement du blé dur.....	71
V.4.3. Caractères morphologiques de la variété « Flipp » du pois chiche.....	72

V.4.4. Composantes du rendement du pois chiche.....	72
V.4.5. Caractéristiques des populations de nématodes à kystes.....	73
V.5. Méthodes d'exploitation des résultats.....	73
V.5.1. Analyse de la variance (ANOVA).....	74
V.5.2. Régression et matrice de corrélation.....	74

Chapitre VI : Résultats et discussion

VI.1. Introduction.....	75
VI.2. Campagne 2016-2017 (1^{ère} année)	75
VI.2.1. Analyses du sol.....	75
VI.2.1.1. Analyse physique du sol.....	75
VI.2.1.2. Analyse physico-chimique.....	77
VI.2.2. Analyse nématologique	80
VI.2.2.1. Densité de populations des nématodes à kystes et nématodes filiformes... 80	
VI.2.2.2. Importance du nombre de kystes trouvés chez la variété Waha de blé dur 85	
VI.2.2.3. Répartition du taux d'infestation des populations d' <i>Heterodera</i> spp..... 90	
VI.2.3. Identification des espèces de nématodes.....	91
VI.2.4. Evaluation du taux de multiplication d' <i>Heterodera</i> spp.....	95
VI.2.5. Nématodes phytoparasites trouvés dans les racines de blé dur.....	96
VI.2.6. Nématodes filiformes trouvés dans le sol de la variété Waha de blé dur.....	98
VI.2.7. Exploitation des résultats d'analyse nématologique.....	99
VI.2.7.1. Analyse de la variance des variables liées aux parasites.....	99
VI.2.7.2. Relation entre le degré d'infestation et le nombre de kystes pleins.....	105
VI.2.8. Model d'évolution du nombre de nématodes (phytoparasites et libres) en fonction des dates de prélèvement du sol.....	106
VI.2.8.1. Mode d'évolution de nématodes à kystes.....	106
VI.2.8.2. Mode d'évolution de nématodes filiformes sol et la racine.....	108
VI.2.9. Effet de nématodes à kystes et filiformes sur les paramètres de croissance de blé dur.....	109
VI.2.9.1. Analyse de la variance de la longueur de racines.....	111
VI.2.9.2. Analyse des corrélations.....	113
VI.2.10. Evaluation du taux de distribution des nématodes filiformes.....	118
VI.2.10.1. Dans les racines.....	118
VI.2.10.2. Matrice de corrélation des principaux genres trouvés dans les racines.....	118
VI.2.10.3. Dans le sol.....	120

VI.2.10.4. Matrice de corrélation des principaux genres trouvés dans le sol.....	120
VI.3. Campagne 2017-2018 (2^{ème} année).....	121
VI.3.1. Analyse nématologique.....	121
VI.3.1.1. Importance de la densité de populations des nématodes à kystes trouvés chez la variété Flipp du pois chiche.....	121
VI.3.1.2. Répartition du taux d'infestation des populations d' <i>Heterodera sp.</i> dans la culture du pois chiche.....	126
VI.3.2. Effet de la période végétative du pois chiche sur la multiplication d' <i>Heterodera sp.</i>	127
VI.3.2.1. Evaluation du taux de multiplication.....	127
VI.3.3. Exploitation des résultats d'analyse nématologique durant le stade levée et maturation du pois chiche.....	128
VI.3.3.1. Analyse de la variance des variables étudiées.....	128
VI.3.3.2. Relation entre le degré d'infestation et le nombre de kystes.....	129
VI.3.4. Mode d'évolution du nombre moyen de nématodes à kystes d' <i>Heterodera</i>	129
VI.3.5. Effet d' <i>Heterodera sp</i> sur les paramètres de croissance de la variété Flipp.....	131
VI.3.5.1. Analyse de la matrice de corrélations.....	133
VI.4. Discussion générale.....	136
VI.4.1. Nématodes à kyste du genre <i>Heterodera spp.</i>	136
VI.4.2. Les nématodes phytoparasites des racines et du sol.....	146
Conclusion et perspectives.....	147
Références Bibliographiques.....	150
Annexe.....	169

Introduction générale

Introduction

En Algérie, la superficie totale du territoire national est de 238 millions d'hectares. 42 millions à vocation agricole dont 8.4 millions d'hectares sont utiles. La production céréalière en Algérie ne couvre pas les besoins de la population depuis 1970 (Smadhi et Zella, 2009). Le blé a une importance économique de tout premier plan à l'échelle mondiale. Il constitue une céréale d'importance primordiale à travers le monde, d'un point de vue économique et en tant que denrée alimentaire pour l'homme. Il occupe la deuxième céréale la plus produite au monde, derrière le maïs et devant le riz. Le blé est une culture vivrière importante cultivée sur une grande superficie du monde entier dépassant les 270 millions d'hectares avec une production totale de 758 millions de tonnes en 2018 (Faostat, 2018). De ce fait, le pays n'importe pas moins de 4,6 millions de tonnes de blé depuis les ports français à la fin avril dernier. Un niveau record d'importation en hausse de 34% par rapport à la campagne 2017/2018 représentant trois fois le niveau d'importation enregistré durant la campagne 2016/2017. Bien que la sole céréalière oscille autour de 3.5 millions d'hectares (Faostat, 2018), 60 % de cette surface est située en climat semi-aride, là où les potentialités de production restent faibles et le mode de culture est extensif. Dans ces zones où la pluviométrie annuelle est inférieure en moyenne à 450 mm, le rendement du blé dur oscille entre 7 et 10 q/ha et la variabilité inter-annuelle y est forte en raison d'une répartition des précipitations de plus en plus erratique (Feliachi *et al.*, 2001; Smadhi et Zella, 2009 ; Sahnoune *et al.*, 2013).

Pour combler le déficit productif, il faudrait multiplier par 4 la production nationale, soit en augmentant la superficie céréalière de 3 à 11,5 millions d'hectares, soit en élevant le rendement moyen à 27,5 q/ha, ce qui met en exergue l'ampleur des progrès à accomplir et souligne la dépendance céréalière durable de l'Algérie vis-à-vis des importations (Smadhi et Zella, 2009).

Il est bien établi que la sécheresse est le facteur limitant majeur du rendement du blé d'hiver en région Méditerranéenne, les pertes varient de 10 à 80 % selon les années (Nachit *et al.*, 1998). Dans cet environnement, la contrainte hydrique peut survenir à tout moment du cycle cultural (Baldy, 1993). De même, parmi les agents biotiques qui limitent la production des céréales, les nématodes à kystes du genre *Heterodera* provoquent des pertes considérables à ce type de culture. Ils représentent une contrainte majeure à l'intensification de la production de céréales et de

légumineuses. C'est un complexe très polymorphe, présentant de multiples espèces, races ou pathotypes caractérisés par leur cycle biologique et leur gamme d'hôtes, qui apparaît endémique en Europe et dans le bassin Méditerranéen. Ce problème sous-estimé tant que l'on a cultivé des cultivars à rendement moyen ou faible apparaît au contraire très grave en présence de cultivars nouveaux beaucoup plus performants, mais aussi beaucoup plus vulnérables.

Les nématodes participent ainsi activement aux divers processus du sol notamment par leur influence sur la biomasse, la composition et l'activité des communautés microbiennes du sol, ainsi que sur la minéralisation des matières organiques (Bongers et Ferris, 1999 ; Ferris, 2010 ; Yeates et Bongers, 1999 ; Trap *et al.*, 2016). Les communautés de nématodes ont ainsi un rôle d'indicateur de la structure et du fonctionnement global des réseaux trophiques du sol.

Les travaux relatifs à ces parasites en Algérie sont réalisés depuis 1995 par (Labdelli, 1995; Righi *et al.*, 1998, Haddadi, 1999; Mokabli (2001 et 2002); Ouanighi 2004, et Hamroun 2006, Righi *et al.*, 2016, Tirchi *et al.*, 2016) ont révélé la présence de ces nématodes dans plusieurs zones céréalières. Il s'agit des premières informations disponibles sur ces parasites. En plus, ces nématodes sont méconnus par les agriculteurs.

Compte tenu de l'importance économique considérable des dégâts provoqués par ces parasites et du manque d'informations sur ces derniers en Algérie et notamment dans la totalité de la wilaya de Médéa, spécifiquement dans la région de Béni-Slimane, nous nous sommes proposés d'élargir nos recherches pour mettre en évidence ces parasites, dévoiler l'importance de l'infestation des parcelles de production, et d'autre part, de déterminer la distribution et la fréquence des espèces inféodées aux céréales cultivées (blé dur) et celles qui se développent sur une espèce de légumineuse (pois chiche). Ce dernier et grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique représente une source intéressante pour la nutrition azotée des plantes en alternative ou en complément des intrants apportés. C'est pourquoi les espèces de cette famille botanique sont mobilisées en tant que cultures intermédiaires ou au cours des rotations lorsque l'on vise à développer des systèmes de culture innovants à bas intrants ou plus respectueux de l'environnement ; (Drinkwater *et al.*, 1998 ; Schneider et Huyghe, 2015).

Notre travail consiste dans une première partie à faire une analyse bibliographique sur les céréales en rappelant en plus de leur importance agro économique, les contraintes de production et de développement d'une part (Chap. I) et

d'autre part, de présenter l'effet de la rotation d'une légumineuse (pois chiche) sur le sol et la production en Algérie (Chap. II).

Nous présenterons dans le chapitre III, la bio écologie des nématodes à kystes ainsi que les nématodes filiformes inféodés à cette spéculation, en l'occurrence le complexe *Heterodera avenae*.

Un quatrième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques édapho-climatiques et agro-économiques de la région d'étude.

Un cinquième chapitre porte sur l'état d'infestation des sites étudiés et l'identification des espèces de nématodes à kyste et filiformes responsables des infestations, leur fréquence et leur distribution dans deux années d'étude par l'application de la rotation.

En fin, le dernier chapitre est consacré à la discussion des résultats obtenus.

Première partie :
Analyse bibliographique

Chapitre I : Généralité sur la culture céréalière

I.2. Importance économique de céréales

I.2.1. Dans le monde

Dans le monde, 700 millions d'hectares de céréales sont cultivés, soit plus de 15 % de la surface agricole mondiale (fig.01). Les surfaces cultivées de blé dans le monde couvraient 221 millions d'hectares en 2011 (Boussac *et al.*, 2012). Actuellement, près de 733 millions de tonnes de blé sont produites chaque année dans le monde qui fait de lui la céréale la plus consommée par l'homme avec le riz.

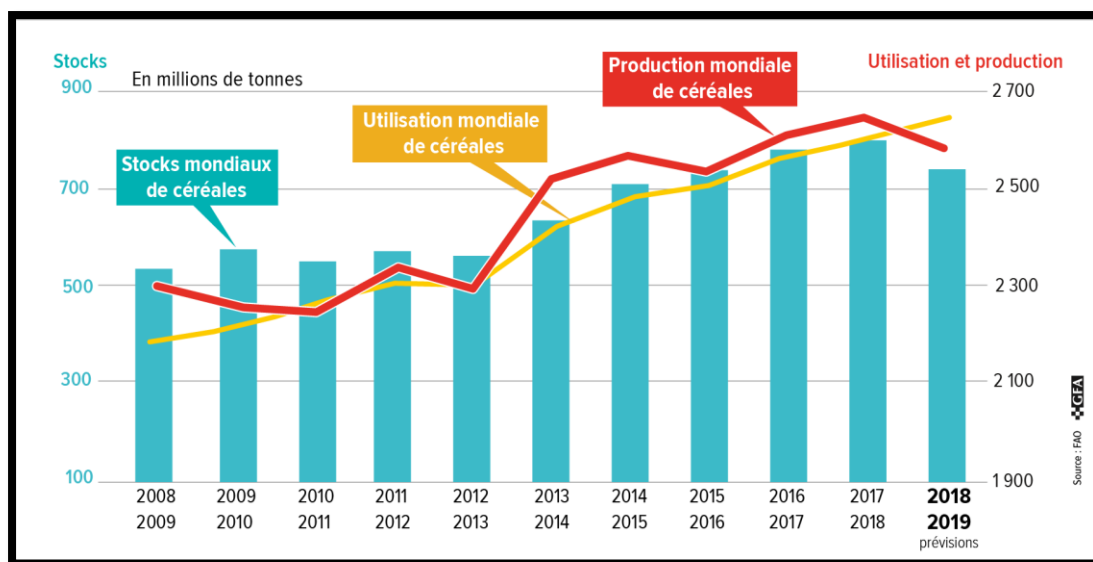


Fig. 01-Evolution de la production, consommation et stocks mondiaux des céréales
(France agricole, 2018)

Le blé à une importance économique de tout premier plan à l'échelle mondiale. Il constitue une céréale d'importance primordiale à travers le monde, d'un point de vue économique et en tant que denrées alimentaires pour l'homme. Il occupe la deuxième céréale la plus produite au monde, derrière le maïs et devant le riz. Ces céréales représentent, à elles, trois plus de 85 % de la production céréalière mondiale et constituent la base de la nutrition humaine. Ce sont aussi d'importantes sources potentielles d'énergie renouvelable sous la forme de biocarburants.

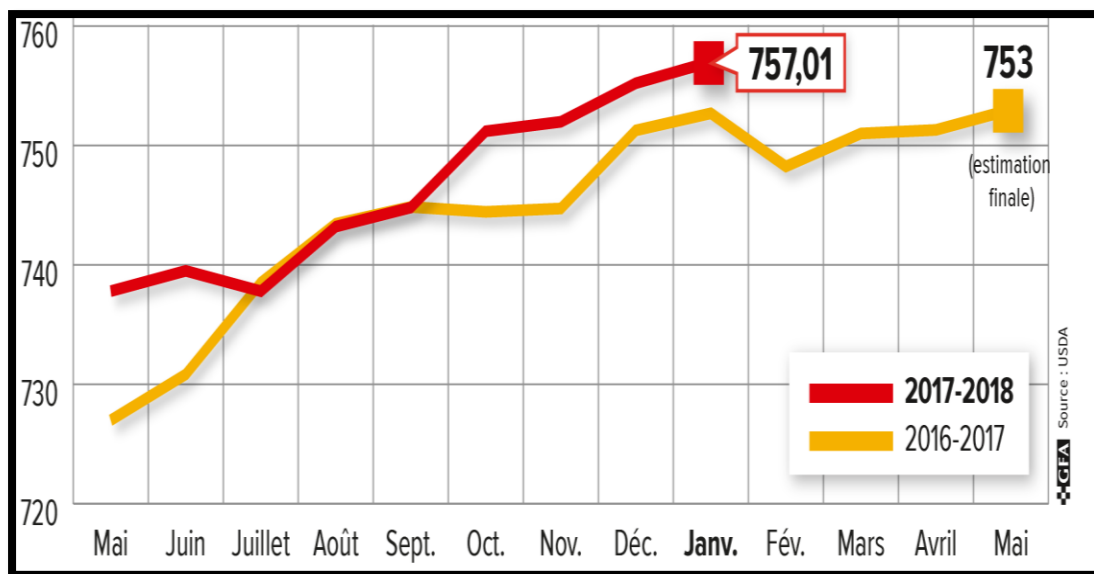


Fig. 02- Production mondiale de blé en millions de tonnes (USDA ; 2018).

I.2.2. En Algérie

En Algérie, la production céréalière réellement obtenue durant la campagne 2017/2018 a été estimée à 60,5 millions de quintaux, contre 34,7 millions de quintaux durant la campagne précédente, soit une hausse de 74,4 %, a précisé Monsieur Bouazghi (APS, 2018).

En effet, la production céréalière est répartie entre le blé dur, à hauteur de 31,5 millions de quintaux, contre 19,9 millions de quintaux enregistrés durant la campagne précédente, soit une hausse de 58 %, et l'orge pour 19,5 millions de quintaux, contre 9,6 millions de quintaux réalisés lors de la campagne 2016-2017, soit une croissance de 100 %.

En Algérie, le blé dur est une culture ancestrale dont le produit constitue la base de l'alimentation de la population sous diverses formes notamment semoule et pâtes (Hannachi, 2013). La production algérienne, quoiqu'en augmentation, passant de 2.1 millions de tonnes, moyenne de la période en 2009-2015, à 3.9 millions de tonnes, moyenne de la période 2017-2018, est loin de couvrir les besoins du pays, estimés à 8 millions de tonnes par an (Benbelkacem, 2013 ; IGC, 2019). Le faible niveau des rendements explique en grande partie celui de la production, puisque les superficies allouées à cette culture varient peu dans le temps (Benbelkacem, 2013).

Pour combler l'écart entre les besoins domestiques et la production nationale de céréales, l'Algérie doit quadrupler sa production locale soit en augmentant virtuellement la superficie emblavée jusqu'à 12 millions d'hectares, en réduisant la superficie de la

jachère, ou en augmentant le rendement moyen de 0,7 à 2,8 t/ha (Merouche *et al.*, 2014), ce qui exige un énorme progrès technique.

L'analyse par espèce montre la prédominance du blé dur de près de 1 599 294 ha de (46,41 % de la superficie céréalière totale), 1 284 726 ha d'orge (37,28 %), 480 725 ha de blé tendre (13,95 %) et 81 201 ha d'avoine (2,35 %). La superficie totale récoltée a été de 3 101 512 ha, soit 90% de la superficie totale emblavée, dont 1 487 685 ha de blé dur, 1 085 056 ha d'orge, 451 665 ha de blé tendre et 77 106 ha d'avoine (fig. 03).

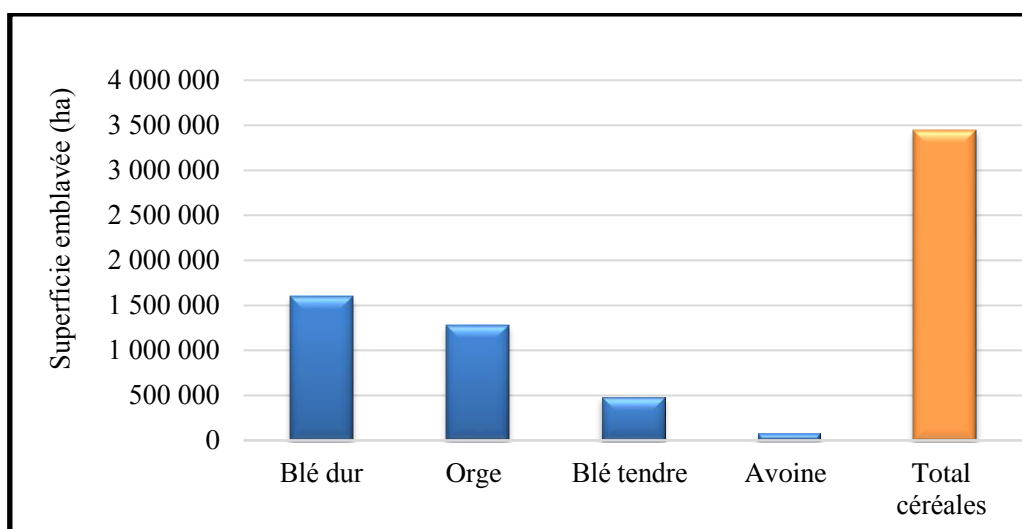


Fig. 03- Superficie emblavée en céréales par espèce (DSASI/MADR/Alger, 2019).

La production céréalière totale obtenue a été de 60 298 003 quintaux (q), dont 31 636 398 q de blé dur (52,46 %), 19 505 047 q d'orge (32,35 %), 7 982 079 q de blé tendre (13,24 %) et 1 174 479 q d'avoine (1,95) (fig. 04).

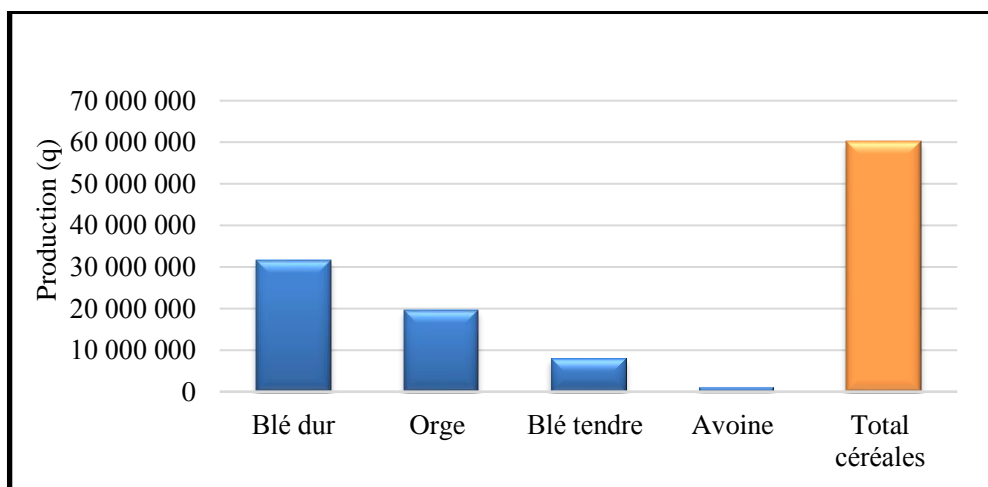


Fig. 04 - Production céréalière par espèce (DSASI/MADR/Alger, 2019).

Algérie presse service (APS), qui a rapporté l'information, a indiqué que l'Algérie a importé pas moins de 4,6 millions de tonnes de blé depuis les ports français à la fin avril dernier. Un niveau record d'importation en hausse de 34% par rapport à la campagne 2017/2018 et représentant trois fois le niveau d'importation enregistré durant l'exercice 2016/2017. Cette hausse des achats de blé tranche avec la décision de réduction des importations prise suite à l'augmentation des niveaux de la production nationale. L'Algérie a réalisé une récolte record de 3,9 Mt durant la campagne 2018/2019, soit une hausse de 61% de la production dont 3,15 Mt de blé dur.

La hausse de la facture des importations de blé «est liée à la conjoncture du marché international des céréales, qui s'affiche tant en baisse tantôt en hausse», selon une source proche de l'OAIC, principal importateur algérien de céréales.

Le montant des importations de céréales, a enregistré entre 2002 et 2012 une hausse de plus de 150 % (avec un pic de plus de 4 milliards de dollars enregistré en 2008).

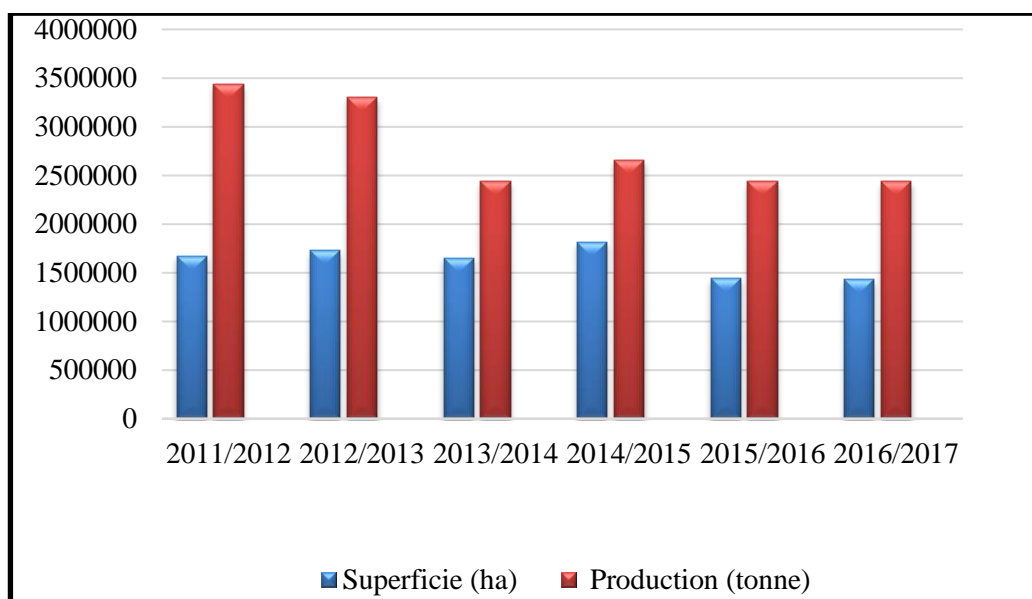


Fig. 5 - Evolution de la superficie et production du blé en Algérie.

Source : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>

La production fluctue et les rendements restent faibles comparés aux performances des autres pays du Bassin méditerranéen et se situent entre 9 et 19 quintaux à l'hectare (Djermoun, 2009, ITGC, 2019). La raison de la mauvaise performance et de l'instabilité dans le temps du rendement, autrement dit, l'instabilité de la production, est l'une des caractéristiques de la culture du blé pluvial avec ces conséquences économiques sur le

revenu des céréaliers en Algérie et en Afrique du Nord. Cette instabilité est due en partie aux conditions climatiques, notamment la sécheresse. La céréaliculture algérienne est conduite en mode pluvial qui, ajouté à une conduite de l'itinéraire technique inadéquate, à la faible mécanisation et à la non application des facteurs d'intensification (semence de qualité, engrais et produits phytosanitaires), la production est souvent en dessous des objectifs fixés dans les programmes de développement des céréales (Ait Abdallah *et al.*, 2010). Les résultats des essais montrent, par ailleurs, que le travail du sol, le désherbage, la date de semis et la fertilisation ont une influence plus au moins importante, mettant en second ordre un autre facteur moins important qui est celui des maladies (Sayoud et Benbelkacem, 1996). Ainsi que, des attaques dues aux parasites (Viroses et Mycoses) ; la pullulation de certaines espèces animales déprédatrices et l'apparition de nouveaux ravageurs constituent l'une des principales causes de la diminution des rendements et des faibles productions. Parmi les facteurs biotiques, les nématodes pourraient constituer l'un des principaux organismes impliqués dans le dit phénomène. Cependant, de tous les dangers potentiels qui menacent les cultures, les nématodes peuvent également causer des dégâts non négligeables. Parmi eux, le nématode à kyste (*Heterodera avenae* Woll., 1924), représente une menace assez sérieuse. En effet, ce bio-agresseur constitue l'espèce la plus dangereuse sur les céréales dans le monde (Rivoal *et al.*, 1986), et particulièrement dans les pays du Maghreb : en Algérie (Mokabli *et al.*, 2001), Tunisie (Namouchi-Kachouri et B'Chir, 2004) et au Maroc (Mokrini *et al.*, 2009). Les nématodes sont souvent les moins connus et ont été en grande partie exclus de l'attention de la recherche (Reversat, 1988).

D'un point de vue d'agronome et de sélectionneur, les deux sortes de facteurs biotique et abiotique impactent de façon comparable le rendement et la qualité de la production des céréales. Concrètement, il n'est pas toujours évident de savoir si des symptômes sont liés à un « désordre physiologique » (par exemple une carence minérale), ou à l'action d'un agent pathogène. Par ailleurs, face à un certain nombre de stress abiotiques comme le déficit hydrique, carences en minéraux ou les attaques parasitaires, il existe des solutions culturales (irrigation, amendements, traitements phytosanitaires...etc.).

Les données sur l'importance des nématodes, la composition et la densité des populations, leur caractère pathogène, en particulier la survenue des dommages causés par certaines espèces ou groupes d'espèces sont peu nombreuses (Talwana *et al.*, 2008).

C'est d'ailleurs, dans cette perspective que nous avons entrepris l'étude sur les nématodes phytoparasites à Kyste du genre « *Heterodera spp.* », avec d'autres nématodes phytoparasites associés du blé dur dans les conditions climatiques de la plaine de Béni-Slimane à Médéa.

I.2.3. Dans la wilaya de Médéa

La wilaya de Médéa fait partie de la région Nord centre. Elle se distingue par la grande taille de ses exploitations (28% de celles de Chlef ont une SAU comprise entre 5 à 10 ha, contre 16 % au niveau régional, la moitié des exploitations de Médéa s'étendent sur 05 à 50 ha, contre seulement 1/3). Cette particularité s'explique par l'activité dominante sur ces terres : les grandes cultures, céréales, cultures fourragères et cultures industrielles. Or, il faut révéler que ces structures, malgré leur taille moyenne supérieure (8.7 ha dans cette zone), ne parviennent pas à dégager une production importante en valeur.

En effet, la rareté de l'irrigation (2% de la SAU à Médéa, 8% à Chlef contre 9 % dans la région Nord-centre, et surtout l'ampleur de la pratique de jachères (jusqu'à 44% à Médéa, c'est-à-dire la proportion la plus élevée de la région), montrent la sous exploitation des facteurs de production (eau, fertilisant) dans ce croissant aride (fig. 06).

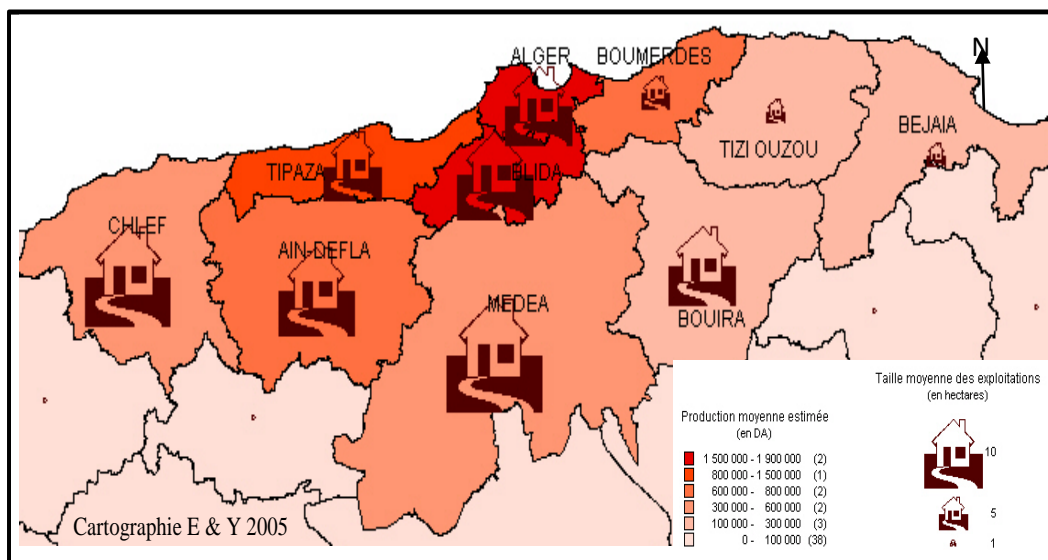


Fig. 06 - Estimation de la production moyenne et taille moyenne des exploitations de la région (MADR, 2018).

Selon la Direction des Services Agricoles de la wilaya de Médéa (DSA), les superficies céréalieres sont passées de moins de 119 037 hectares en 2013/2014 dont 69

125 pour le blé dur à moins de 113 400 hectares de céréales dont 72 589 pour le blé dur en 2018/2019 (fig. 07).

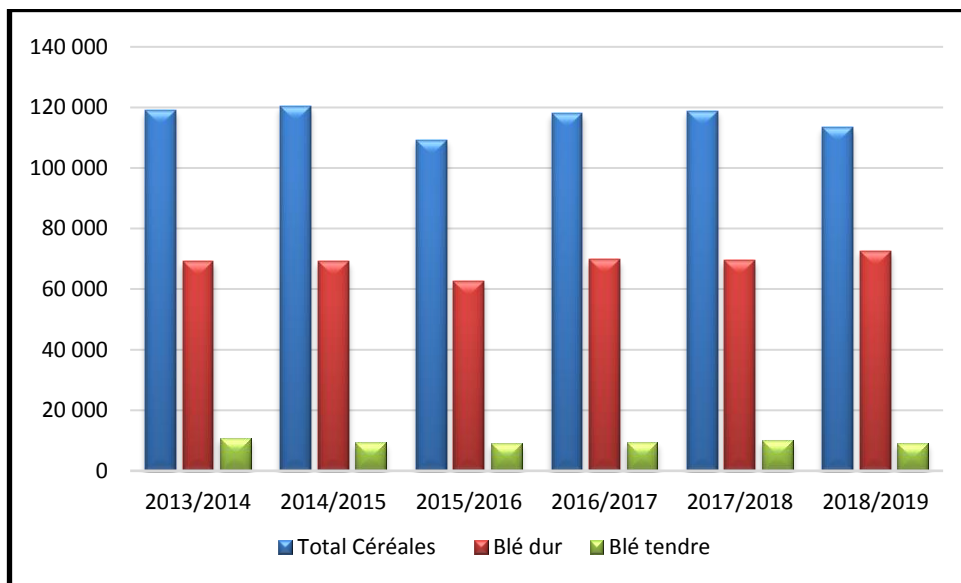


Fig. 07 - Evolution des superficies de blé dur, blé tendre et total céréales (DSA Médéa, 2020).

Les rendements moyens, toutes céréales confondues, ont été estimés entre 11.1 q/ha et 18.4 q/ha. La production de céréales est de 1 160 717 q, dont 738 320 q pour le blé dur en 2013/2014 à 2 028 543 q de céréales, avec 1 293 108 q de blé dur, et 158 371 pour le blé tendre en 2018/2019, c'est-à-dire près de 64 % du total de la production de céréales.

L'évolution de la production de céréales, (blé dur et tendre) de la wilaya de Médéa durant la période 2013/2014 à 2018/2019 est représentée dans la figure 08.

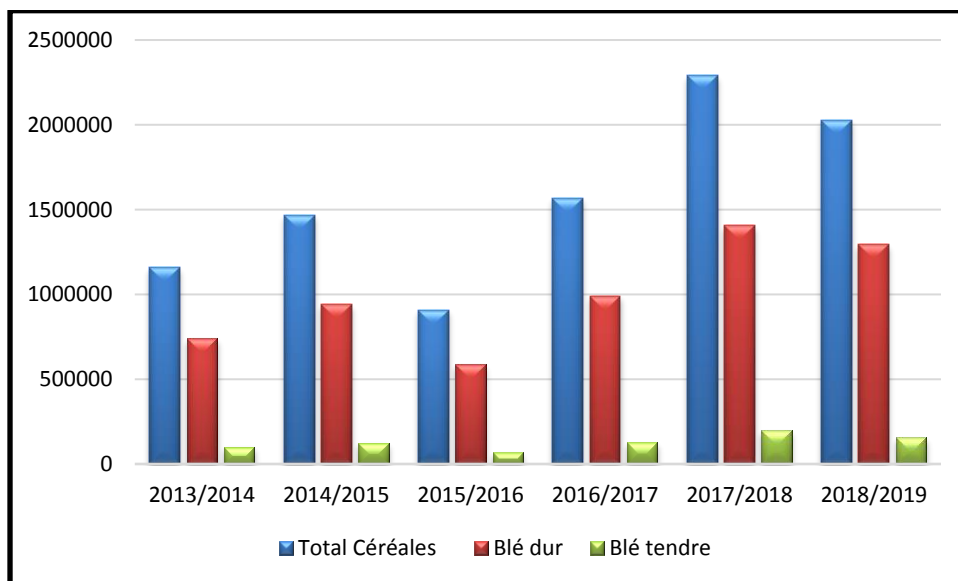


Fig. 08 - Evolution de la production de céréales, blé dur et tendre dans la wilaya de Médéa (DSA Médéa, 2020).

I.3. Cycle végétatif du blé

On distingue trois périodes importantes dans le cycle végétatif du blé : une période végétative, une période de reproduction et une période de maturation (Fig. 09).

I.3.1. Période végétative

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

a- Phase germination - levée

Les conditions requises étant réalisées (température, humidité, etc.), le grain de blé va germer. Quelques jours plus tard, apparaît la première manifestation importante de la jeune plante en développement, une sorte d'acte de naissance : l'épointement de la radicule (la jeune racine déjà présente dans l'embryon) (Claire, 2013).

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et de la coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol (Cherfia, 2010).

b- Phase levée – tallage

Lorsque la plante possède 3 à 4 feuilles, une nouvelle tige, la talle primaire apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée. Après l'émission de la première talle, la plante va émettre des talles primaires, qui prennent naissance à l'aisselle du maître-brin (tige principale), puis, lorsque ce dernier a 6 feuilles au moins, des talles secondaires dont les bourgeons seront alors situés à l'aisselle des feuilles des talles primaires. Le tallage herbacé s'arrête dès l'évolution de l'apex de la formation d'ébauches de feuilles à celle d'ébauches florales (futurs épillets) qui sont suffisamment avancées (Gate et Giban, 2003).

c- Phase tallage-montaison

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

I.3.2. Période de reproduction

Elle s'étend de la montaison à la fécondation

a- Phase de la montaison

Au cours de cette phase, un certain nombre de talles herbacées vont évoluer vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser. La croissance en taille et en matière sèche est alors active. Cette phase se termine au moment de la

différenciation des stigmates. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours (Clement-Grandcourt et Prat, 1970).

b- Phase de l'épiaison

Elle est marquée par la méiose pollinique, l'éclatement de la graine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux et s'effectue la fécondation (Soltner, 2005). La vitesse de croissance de la plante est maximale. Cette phase correspond à l'élaboration d'une grande quantité de la matière sèche. Cette phase dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influence le nombre final de grains par épi (Masle, 1980 ; Soltner, 2005).

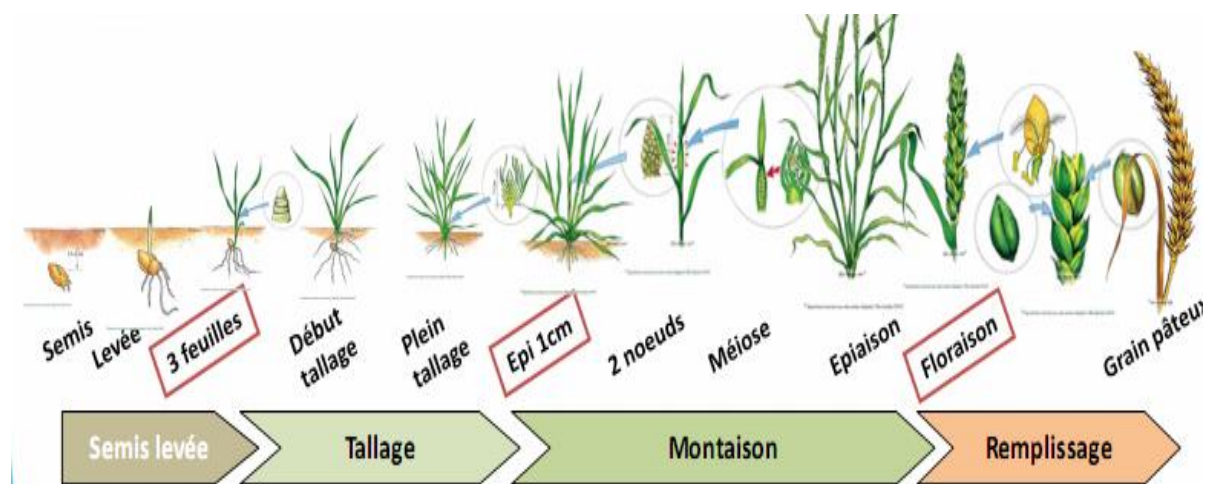


Fig. 09 - Les phases du cycle végétal du blé (ARVALIS, 2015).

I.3.3. Période de maturation

Au cours de cette phase, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserve. On observe une augmentation du volume du poids des graines. La phase se termine par le stade laiteux. Ensuite, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Puis les grains deviennent durs et leur couleur devient jaunâtre (Boufnar-Zaghoune et Zaghouane, 2006).

I.4. Maladies des céréales

Les céréales peuvent être attaquées par de multiples maladies durant leur cycle de développement, et subir des pertes de rendement importantes, surtout lorsque la variété utilisée est sensible et que les conditions de l'environnement sont favorables au développement des agents pathogènes et particulièrement les agents cryptogamiques qui causent des dégâts importants (Aouali et Douici-Khalfi, 2013). Ces maladies peuvent être

contrôlées efficacement lorsqu'elles sont détectées à temps. Les symptômes induits sont pour la plupart spécifiques, donc il est important de les reconnaître pour pouvoir identifier les différentes maladies qui peuvent apparaître sur les cultures de céréales ainsi que leurs conditions de développement afin de raisonner une lutte efficace. Les maladies des céréales peuvent être regroupées selon le symptôme qu'elles induisent et les parties qu'elles affectent (Aouali et Douici-Khalfi, 2013).

I.4.1. Principales maladies du blé

Pas de répit tout au long du cycle de vie du blé, les maladies se relayent pour atteindre leur but : affecter fortement le rendement. Néanmoins leurs fréquences et gravité restent inégales. L'essentiel est de contrôler les plus dommageables : la Septoriose et la Rouille jaune pour le blé tendre, sans oublier les fusarioses qui produisent les mycotoxines (Moreau, 2011).

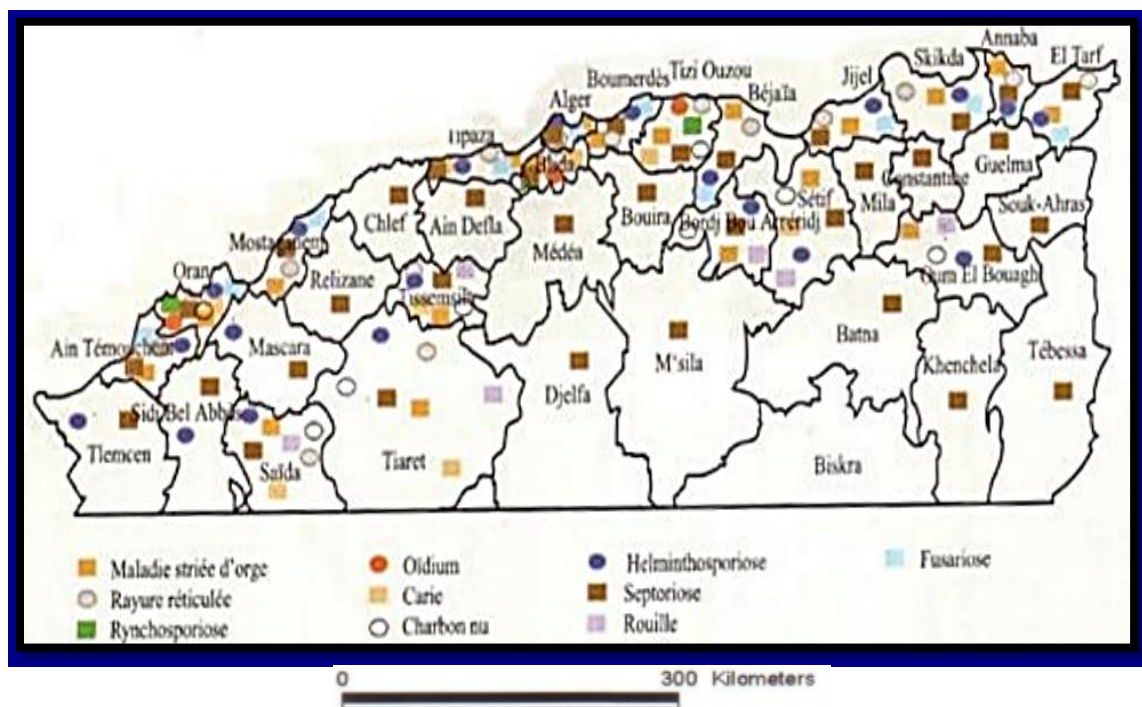


Fig. 10 - Répartition des principales maladies du blé (Arvalis, 2015).

L'utilisation des variétés de blé résistantes, la destruction des larves et des pupes en utilisant des insecticides ainsi que la rupture du cycle évolutif de l'insecte en pratiquant un assolement judicieux restent parmi les moyens de lutte les plus pratiqués.

Chapitre II : Légumineuse, Rotation et pois chiche

II.1. Introduction

Du point de vue agronomique, l'intégration des légumineuses dans les systèmes de culture permet des économies d'intrants azotés à l'échelle de la rotation par rapport à des successions majoritairement constituées de céréales du fait de leur capacité à fixer le diazote de l'air via une symbiose (Peoples *et al.*, 2009, Preissel *et al.*, 2015). Par conséquent, un accroissement des surfaces cultivées en légumineuses permettrait de réduire les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre (CO₂ et N₂O) en 1) réduisant l'énergie nécessaire pour fabriquer, distribuer et épandre les engrais azotés de synthèse et 2) réduisant les importations de soja pour l'alimentation animale, et donc les émissions de CO₂ associées.

De plus, l'intégration de légumineuses permet d'augmenter la diversité des systèmes de grandes cultures permettant de rompre le cycle de certains pathogènes et ainsi de réduire le recours aux pesticides à l'échelle de la rotation (Peoples *et al.*, 2009 ; Angus *et al.*, 2015).

Les légumes secs correspondent aux légumineuses à graines récoltées à maturité, et à destination de l'alimentation humaine. Il s'agit de la lentille, du fenugrec, du pois chiche, du haricot. Le pois, le lupin et la féverole peuvent aussi appartenir au groupe des légumes secs lorsque leurs graines sont récoltées pour l'alimentation humaine. En France, malgré la diversité des espèces adaptées à des conditions pédoclimatiques variées, les cultures de protéagineux (299 000 ha), de soja (141 000 ha) et de légumes secs (53 000 ha) représentaient seulement 1,7 % de la surface agricole utile en 2017 (Agreste, 2018).

II.2. Origine et répartition géographique

L'origine et les ancêtres de *Cicer artium* sont mal connus. On le trouve auteur de tout le bassin méditerranéen, l'Asie centrale et occidentale et l'Ethiopie ont été envisagés comme centre d'origine (Jean P *et al.*, 2016). Le pois semble avoir été d'abord cultivé en Asie, d'où il s'est diffusé en Europe, en Chine et en Inde. Dans l'antiquité, les auteurs grecs et romains ont fait état de sa culture comme légume sec et plante fourragère. Le pois était déjà bien connu dans les régions montagneuses de l'Afrique centrale et orientale avant l'arrivée des européens et, vers 1860, c'était une culture

vivrière importante et bien établie au Rwanda et dans le sud-ouest de l'Ouganda. Actuellement, on trouve *Cicer artienum* dans tous les pays tempérés et dans la plupart des hautes terres tropicales (Martin B et Getachew M, 2006).

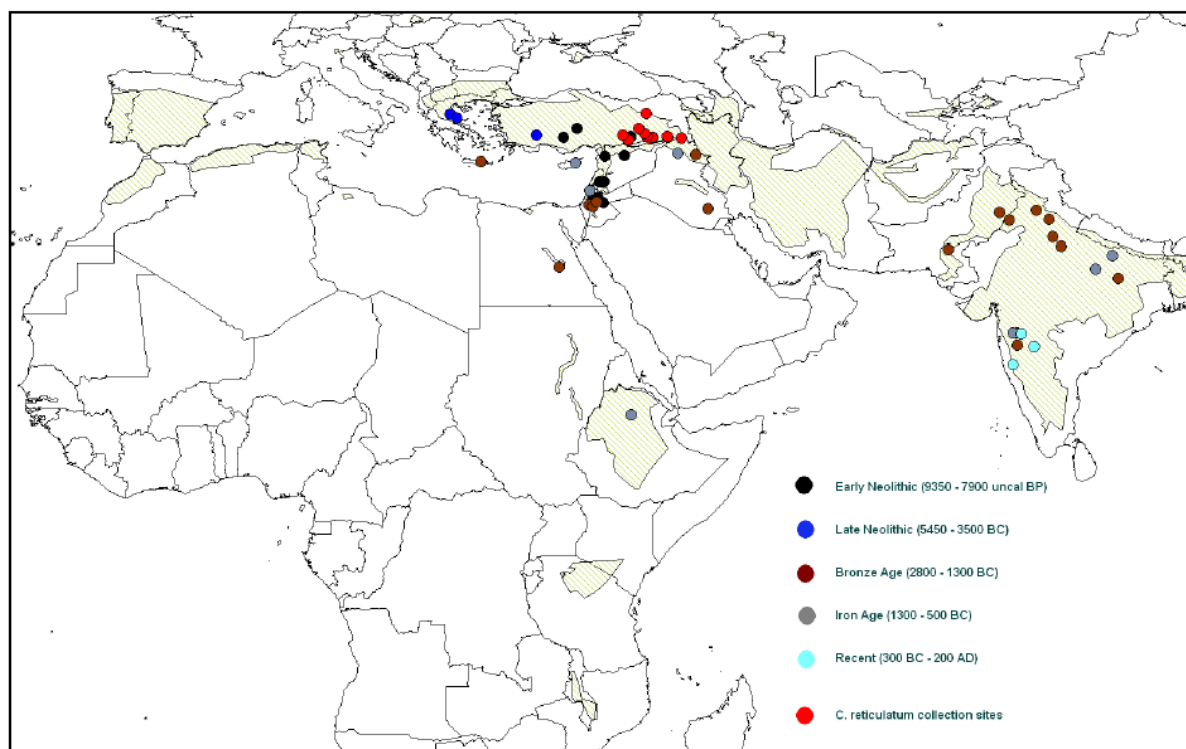


Fig. 13 - Dissémination du pois chiche à travers l'Ancien Monde, de la plante annuelle d'hiver (*C. reticulatum*, progéniteur sauvage) étroitement répartie en méditerranée, aux cultures répandues (zones hachurées). (Berger, 2014).

II.3. Situation de la culture du pois chiche

II.3.1. Dans le monde

Le pois chiche est cultivé dans les 5 continents et dans plus de 50 pays (FAO, 2015). Plus de 90% des superficies sont situées dans les pays développés.

Le continent asiatique (sud et sud-est) détient 9% de la production mondiale (Gaur et al., 2012 ; Millán et al., 2015) (Fig. 20). Les rendements de cette culture dépendent de l'importance des attaques parasitaires et des conditions climatiques, notamment le volume des pluies. La sécheresse est le principal facteur limitant le rendement. La valeur des pertes causées annuellement par cette dernière est estimée à 1,2 milliards de dollars dans le monde (Houasli et al., 2014). Pendant les vingt dernières années, le pois chiche a été classé troisième légumineuse à grains la plus cultivée dans le monde, après le haricot sec et le petit pois (FAO, 2015).












Pays	Production (tonnes)	Production par personne (Kg)	Superficie (en hectares)	Rendement (Kg / Hectare)
 Inde	7 818 984	5,85	8 392 652	931,6
 Australie	874 593	34,915	677 444	1291
 Birmanie	559 390	10,385	363 870	1537,3
 Pakistan	517 107	2,562	1 004 681	514,7
 Turquie	455 000	5,63	351 687	1293,8
 Éthiopie	444 146	4,13	225 608	1968,7
 Fédération de Russie	319 908	2,178	357 945	893,7
 Iran	177 493	2,171	433 356	409,6
 Mexique	121 567	0,975	66 316	1833,2
 États-Unis d'Amérique	107 542	0,328	70 879	1517,3
 Canada	106 900	2,873	59 800	1787,6
		1,937	116 388	902

Fig. 14 - Evolution de la production, superficies et rendement de pois chiche dans le monde (<https://www.atlasbig.com/fr-fr/pays-par-production-de-pois-chiches>).

L'Inde est le premier producteur de pois chiches avec 6,5 millions de tonnes. Mais, c'est l'Australie qui est le premier exportateur avec une production record de 1,6 millions de tonnes en 2016. En France le pois chiche est cultivé, selon les chiffres de 2014, sur 86 000 ha (Fabre, 2008 ; Ghosh et *al.*, 2013; FAO, 2018).

Les plus grands pays exportateurs sont : l'Australie, l'Inde, le Mexique, l'Argentine, l'Éthiopie, le Canada, les États-Unis d'Amérique, la République-Unie de Tanzanie, les Émirats arabes unis et la Turquie, alors que les principaux pays importateurs sont l'Inde, le Bangladesh, l'Espagne, l'Algérie, les Émirats arabes unis, l'Espagne et le Pakistan (FAO, 2018).

II.3.2. En Algérie

Les légumineuses alimentaires constituent après les céréales, la seconde source de protéines pour l'alimentation humaine, malheureusement leur production reste toujours faible et ne satisfait pas la demande. Elles représentaient 83800 ha de la surface agricole totale utilisée (SAU) en 2011 (FAO, 2013). Elles sont cultivées sur les zones

littorales jusqu'aux hauts plateaux ; les espèces de légumineuses alimentaires les plus cultivées sont la lentille (*Lens culinaris L.*), le pois chiche (*Cicer arietinum L.*), le pois (*Pisum sativum L.*), la fève (*Vicia faba L.*) et le haricot (*Phaseolus vulgaris L.*) (Lazali, 2014).

Les légumineuses alimentaires ont reçu beaucoup d'attention de la part des services agricoles pour augmenter les superficies et améliorer les niveaux de rendements (M.A.D.R., 2015), cependant les résultats obtenus n'ont pas été à la hauteur des efforts consentis et les légumes secs restent une filière défailante car seul 1/3 de la consommation est couvert par la production nationale (journal El Watan). Au-delà de la spéculation et de la dévaluation du dinar, la problématique du marché des légumes secs en Algérie serait a priori celle de la production d'abord.

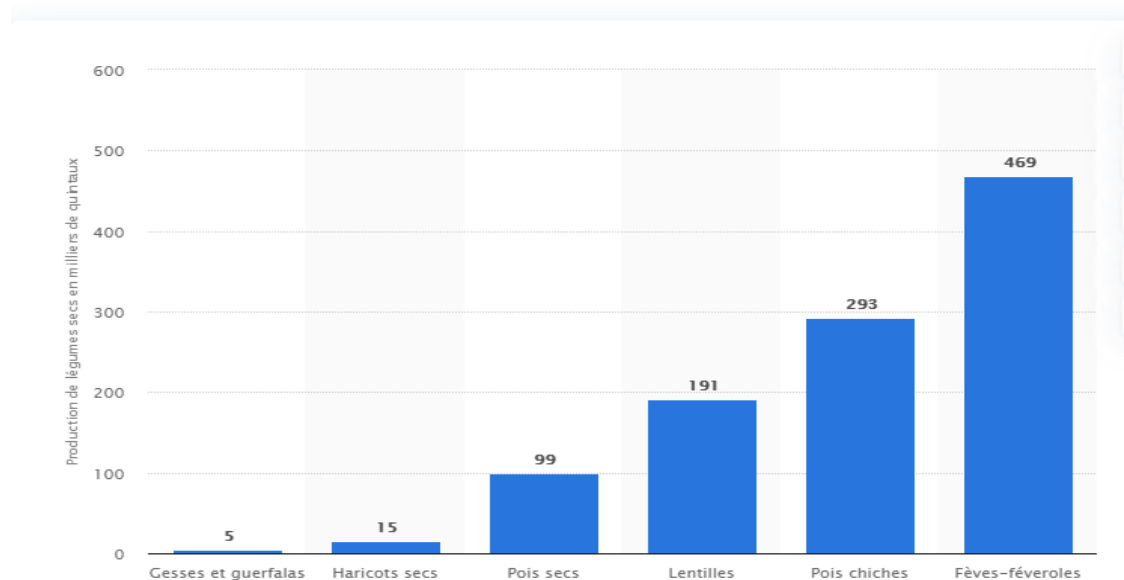


Fig. 13 - La production de légumes secs en Algérie entre (2016 et 2017), par type de légume (en milliers de quintaux) (Source : Statistica ; 2020).

Cette statistique montre la production de légumes secs en Algérie entre 2016 et 2017, par type de légumes. Pour la campagne agricole 2016/2017, la production totale de fèves-féveroles était d'environ 500.000 quintaux en Algérie, tandis que la production de haricots secs s'élevait à environ 15.000 quintaux.

II.4. Rotation

II.4.1. Définition

Bonte (2010) ; Moyen (2016) ont défini la rotation est la succession ordonnée et répétée des cultures sur une même parcelle est un point clé de la réussite du système grâce aux nombreux bénéfices qu'elle apporte.

Fontaine (2011) affirme que la rotation est le premier levier activé pour gérer la fertilité des sols et contrôler les adventices. La clé d'une bonne rotation réside dans la diversité des cultures et surtout leur alternance : famille de plantes différentes, semis à des périodes variées, accroissement de la teneur en matière organique du sol (céréales à paille, maïs...), accroissement en éléments nutritifs (légumineuses), capacité à concurrencer les adventices, ... etc.

II.4.2. Avantages

a- Intérêts agronomiques

La rotation contribue à rompre le cycle vital des organismes nuisibles aux cultures, ravageurs, maladies, mauvaises herbes. Elle peut être une meilleure répartition de la charge de travail lors de l'introduction de prairies ou de jachère dans la rotation (Renaud et Colin, 2017) ; L'emploi de légumineuses permet l'ajout d'azote symbiotique dans le sol. D'une façon générale, la composition des différents résidus de cultures participe à la qualité de la matière organique du sol ; la rotation culturale a par conséquent un effet important sur la vie du sol et la nutrition des plantes.

b- Intérêts environnementaux

Restauration du taux de matière organique des sols et de la biodiversité : Ce résultat est étroitement corrélé à l'ajout de prairies dans le cycle de rotation, Ces prairies peuvent être valorisées par un élevage, Celui-ci permettra en outre un meilleur apport de matière organique (Almaric *et al.*, 2008).

II.4.3. Inconvénients d'un manque de rotation

Un appauvrissement progressif de l'horizon exploité par le système racinaire provoquant des besoins en éléments fertilisants supplémentaires, des déséquilibres et des carences (Morlon, 2013a). Elle Augmente la pression exercée par les pathogènes et ravageurs spécifiques à la culture et leur gamme d'hôtes, et les besoins en intrants. Ainsi qu'elle émet des substances qui peuvent être avérer toxiques pour les cycles suivants (Mazoyer et Roudart, 1997).

II.5. Culture de rotation (Pois chiche)

II.5.1. Evolution des superficies, production et rendement

La superficie emblavée des légumineuses alimentaire durant la campagne 2017/2018 a été de 115 790 ha, dont 32 508 ha de pois chiche, 27 623 ha de lentille, 10 777 ha de pois sec, 2 843 ha de haricot sec et 42 039 ha de fève-fèverole. La production moyenne des légumineuses alimentaires obtenue a été de l'ordre de 591 872 q, dont 381 476 q de pois chiche, 293 423 q de lentille, 114 857 q de pois sec, 27 619 q de haricot sec 591 872 q de fève-fèverole. (Fig. 14.)

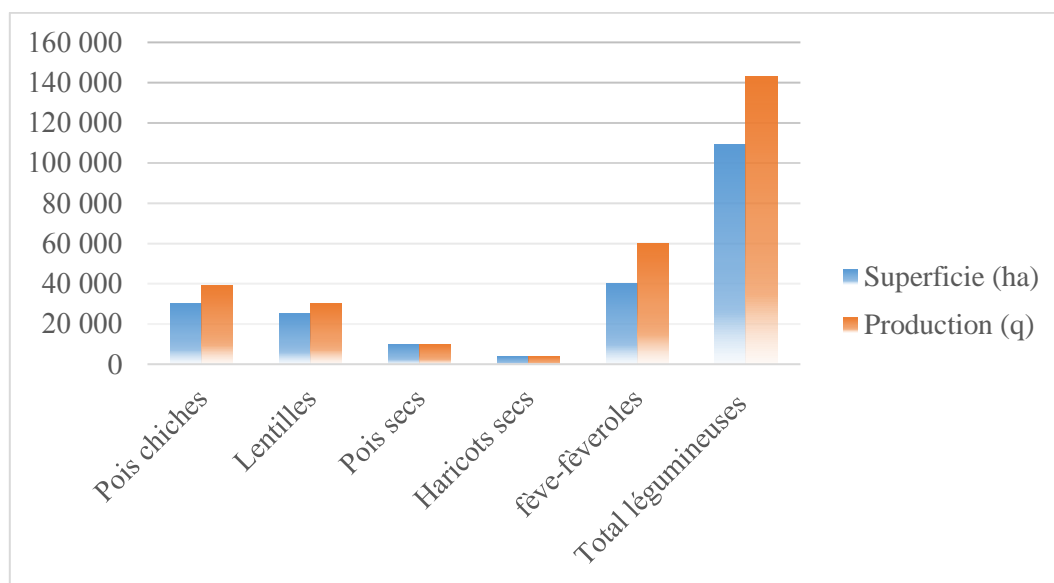


Fig. 14 - Superficie emblavée et production des légumineuses alimentaires, campagne 2017/2018.

Les rendements moyens pour chaque espèce ont été de l'ordre de 11,94 q/ha pour le pois chiche, 11,47 q/ha pour la lentille, 11,08 q/ha pour le pois sec, 9,82 q/ha pour le haricot sec et 14,68 q/ha pour la fève-fèverole (fig. 15).

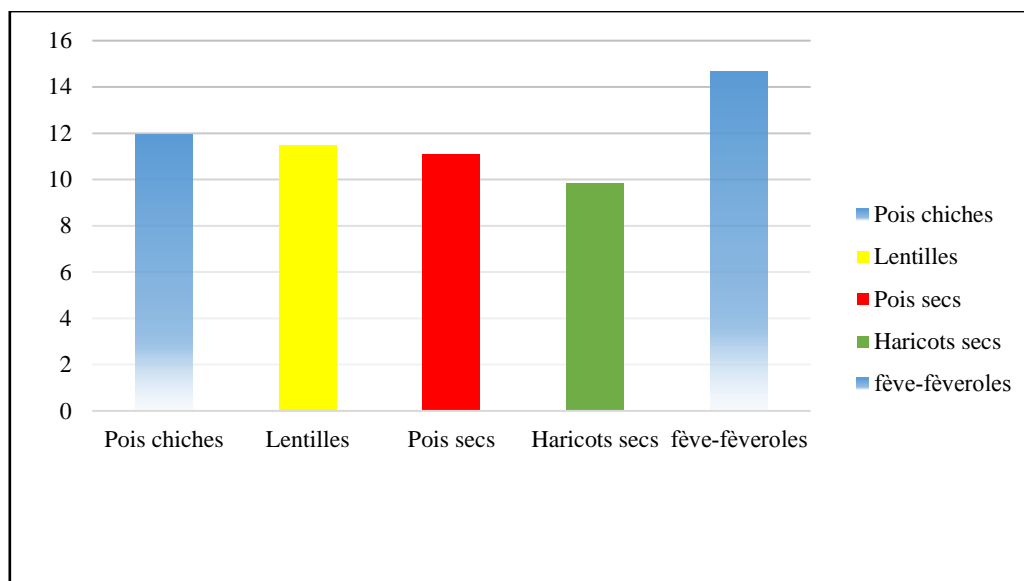


Fig. 15 - Rendement des légumineuses alimentaires de la campagne 2017/2018.

Par ailleurs, le ministre a fait savoir que l'Algérie n'importera plus de pois chiche et de lentilles dans les prochaines années. Selon le bilan du ministère de l'Agriculture, la production de pois chiche est passée de 123 000 quintaux en 2001 à 340 000 quintaux en 2018, alors que la superficie réservée à la culture de ce légume sec est passée de 19 000 hectares en 2001 à 32 000 hectares en 2018.

L'institut technique des grandes cultures en Algérie (ITGC), a déclaré que, la superficie cultivée en pois chiche est de 32 508 ha, pour une production de 381 476 qx et un rendement de 11.94 q/ha pour la campagne (2018/2019) (tab. 04).

Tableau 01 : Superficie, Production et Rendement de Légumineuse alimentaire en Algérie.

	Superficie (ha)	Production (q)	Rendement (q/ha)
Pois chiche	32 508	381 476	11.94
Lentille	27 623	293 423	11.47
Total	60 131	674 899	11.22

(Source : ITGC, 2020).

II.6. Dans la Wilaya de Médéa

La wilaya de Médéa a enregistré une bonne production de légumes secs, particulièrement en ce qui concerne la production de pois chiches (DSA, Médéa). Elle a indiqué que, pour ce qui est des légumes secs (lentilles et pois chiches), la production totale obtenue a été de 21 633 quintaux sur une surface de 2 477 hectares pour la

campagne (2016/2017), et de 30 388 quintaux sur une surface de 2 498 hectares pour la campagne (2018/2019) (fig. 16).

La part des pois chiche a été une production de 7 144 quintaux sur 704 hectares qui lui ont été réservés au cours de la campagne 2018/2019.

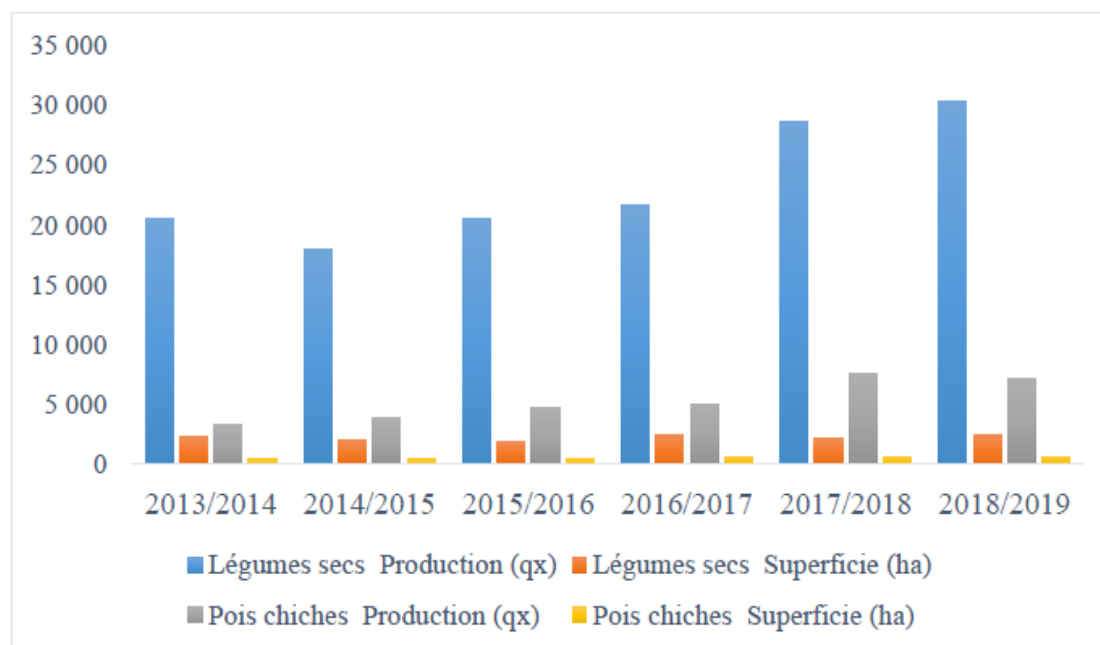


Fig. 16 - l'évolution de la superficie et de la production de légumes secs et de pois chiche dans la wilaya de Médéa (DSA, 2020).

II.7. L'effet de la rotation sur la dynamique des populations *Heterodera spp.*

Les pratiques culturales influent sur les différentes phases de la dynamique des populations de bioagresseurs. Les jachères, les rotations culturales, la sélection du matériel de plantation ou l'isolement des parcelles sont des pratiques de prophylaxie primaire, c'est-à-dire visant à empêcher ou à retarder la contamination des parcelles et à en diminuer l'inoculum primaire. Ensuite en cours de culture, la gestion des plantes hôtes présentes sur la parcelle, la création de conditions néfastes pour les bioagresseurs ou l'application de biopesticides sont des pratiques de prophylaxie secondaire, c'est-à-dire visant à diminuer les populations de bioagresseurs déjà présents dans les parcelles. Les rotations incluant des plantes non-hôtes permettent de maintenir les populations de nématodes phytoparasites en dessous des seuils de pathogénicité (Mc Sorley *et al.*, 1994; Ferris *et al.*, 1994; Lopez-Fando & Bello, 1995).

La lutte contre *H. avenae* ne peut actuellement s'envisager que par des procédés culturels, car dans la pratique, en raison de la superficie qu'occupent les céréales et du coût généralement élevé des nématicides, les traitements sont rarement utilisables

(Lacombe et Richaud, 1993 ; Vacher, 1994). L'établissement de successions de cultures qui réduisent puis maintiennent les populations de ce parasite au-dessous de son niveau de nuisibilité est généralement proposé dans de nombreux travaux (Sanchez et Zancada, 1987 ; Rivoal *et al.*, 1990).

Les études de dynamique des populations représentent donc un important sujet de recherches qui déterminent les données de base pour l'établissement de programmes cultureux aptes à réduire leur incidence agronomique. Par conséquent, les méthodes de lutte basées sur l'emploi raisonné de différents procédés tels que l'utilisation de plantes résistantes et la rotation des cultures sont généralement conseillées.

Cette dernière méthode de lutte a été retenue et a fait l'objet d'une étude afin d'évaluer l'influence d'une nouvelle culture non hôte (*Cicer arietinum L.*) sur la dynamique des populations d'*Heterodera* spp. dans deux sites expérimentaux de texture différentes.

Chapitre III

Les nématodes parasites des plantes

III.1. Introduction

Les nématodes phytoparasites sont des vers microscopiques, présents dans la grande majorité des sols, depuis la zone équatoriale jusqu'aux régions tempérées froides. Ces nématodes parasites de plantes sont responsables d'un tiers des pertes agronomiques mondiales attribuées aux bio-agresseurs. Ils constituent de graves ravageurs des cultures, induisant de profondes altérations de l'anatomie des racines. Ainsi, ils provoquent des retards de croissance, des flétrissements et une sensibilité accrue aux autres agents pathogènes (Laëtitia, 2013).

III.2. Les nématodes phytoparasites inféodés aux cultures céréalières

Les céréales sont exposées aux attaques de plusieurs espèces de nématodes qui peuvent provoquer des diminutions importantes de rendement. En dehors des nématodes de la tige, les espèces les plus dangereuses sont inféodées au système racinaire. Ce sont de petits parasites pour la plupart invisibles à l'oeil nu. Le plus dangereux est le nématode à kyste *Heterodera avenae*, spécifique aux graminées (Esmenjaud *et al.*, 1987).

III.2.1. Les nématodes à kystes du genre *Heterodera*

Les nématodes à kystes sont des parasites qui n'attaquent généralement qu'un petit nombre d'espèces végétales de la même famille, mais leurs dégâts peuvent être très importants. *Heterodera glycines* est ainsi considéré comme le pathogène majeur du soja aux Etats-Unis. *Globodera pallida* et *G. rostochiensis* provoquent, quant à eux, des dommages importants dans toutes les zones de culture de la pomme de terre. Parmi les espèces de nématodes à galles recensées, la plupart (32 sur 54 espèces testées) se développent, comme les nématodes à kystes, sur une plante hôte spécifique (Blok *et al.*, 2008).

III.2.2. Position systématique et taxonomique

La liste des descriptions s'allonge chaque année d'une centaine d'espèces et d'une dizaine de genres pour les seuls nématodes phytophages (Ritter, 1985). Si l'appartenance des nématodes à kystes de la famille des *Heteroderidae* fait l'unanimité au sein des taxonomistes, il n'en est pas de même pour la répartition des genres à l'intérieur de cette famille.

III.2.3. Genre : *Heterodera*

Selon Turner and Rowe (2006), les espèces du genre *Heterodera* sont des Métazoaires appartenant à l'embranchement des *Némathelminthes*, au phylum *Nematoda*, à la classe des *Secernentae*, à la sous classe des *Diplogasteria*, à l'ordre des *Tylenchida*, à sous ordre des *Tylenchina*, à la super-famille des *Tylenchoidea*, à la famille des *Heteroderidae*, à la sous famille des *Heteroderinae* et au genre *Heterodera*. Ce dernier est représenté par plusieurs espèces, qui peuvent être différenciées par plusieurs critères. Le nématode à kyste du genre *Heterodera* appartient à un groupe d'espèces caractérisées par la transformation des femelles matures en kystes. Ces derniers résistent fort bien à la dégradation naturelle et peuvent être présents dans le sol en quantités non négligeables.

III.2.4. Extension géographique

Le genre *Heterodera* a été décrit en 1871 par l'allemand Schmidt en même temps que l'anguillule de la betterave *Heterodera schachtii* sur blé et l'orge (Monsif el Horabi, 1982), et *Heterodera avenae* a été découverte par Kuhn dès 1874.

H. avenae est largement distribué de par le monde (Meagher, 1977). Dans l'hémisphère boréal, on le rencontre sous diverses latitudes, aussi bien en Europe septentrionale que méridionale (Mezetti, 1953 ; Ritter, 1961), en Inde (Swarup & Singh, 1964), au Moyen-Orient (Minz, 1957), en Afrique du Nord, (Ritter, 1959 ; Scotto la Massese, 1961), l'Asie occidentale dont le Maroc, la Tunisie, le Pakistan, et la Libye (Sikora, 1988) et récemment l'Algérie (Mokabli et al., 2001) et l'Arabie Saoudite (Ibrahim et al., 1999).

Heterodera avenae Wollenweber (1924), parasite obligatoire des graminées est un sérieux agent pathogène pour les cultures céréalières dans le monde entier (Meagher, 1977 ; Ritter, 1982).

En Algérie ce nématode a été identifié par Scotto la Massese en 1961. Il a été mis en évidence par Lamberti en 1975 sur l'orge à Birtouta et sur le blé à El Amra (wilaya d'Ain Defla) et à Sidi Belabbès d'après trente-quatre échantillons prélevés au niveau des céréales lors d'une enquête de dépistage des principaux nématodes.

III.2.5. Morphologie et cycle de vie

III.2.5.1. Morphologie

Thorne (1961) explique que des différences morphologiques entre les espèces d'Australie et d'Europe par la variabilité géographique sont des critères de distinction des espèces (Subbotin et *al.*, 2002).

Les kystes sont recouverts rarement sur toute la surface par une couche subcristalline épaisse. La paroi propre du kyste est ornée de lignes en zigzag court, sans orientation reconnaissable. Cette orientation est surtout visible à l'avant du kyste, la région avoisinant le reste de la tête et dans la portion postérieure à la base du cône vulvaire. Au centre du kyste, il est généralement impossible de couvrir la moindre trace d'ornementation vue de face. L'extérieur du cône vulvaire apparaît du type ambifenestré avec des fenêtres basses, un pont vulvaire étroit et linéaire et une fenêtre vulvaire de même longueur que le pont des bullae existant moyennement développés et situés à une certaine distance en dessous de l'ouverture vulvaire se rapprochant plus ainsi du type *schachtii* que du type major.

Selon Taylor (1988), les kystes d'*Heterodera* peuvent contenir jusqu'à 600 oeufs et peuvent se conserver dans le sol quatre à cinq ans et libérer leurs larves progressivement.

III.2.5.2. Cycle de vie

Comme tous les *Heteroderidae*, *H. avenae* est un endoparasite sédentaire. C'est un endoparasite car le développement se déroule à l'intérieur des tissus végétaux et sédentaire car les différentes mues se font au même endroit. C'est par la pénétration des juvéniles infectieux (J2) dans les tissus racinaires que le cycle débute (fig. 17). Ces juvéniles, au deuxième stade de leur développement, envahissent les céréales au niveau de l'apex des racines puis migrent et se fixent près du cylindre central pour s'alimenter. Là, elles vont subir trois mues pour aboutir soit à un mâle filiforme de 2mm de long, soit à une femelle blanche en forme de citron de 0.5 mm de diamètre. Ce dimorphisme sexuel accentué est d'ailleurs à l'origine du nom donné au genre *Heterodera*. La différenciation sexuelle s'effectue après la quatrième mue. Les femelles produisent des oeufs fertiles par reproduction sexuée parthénogénèse ou hermaphrodisme (Blair, 2005).

La fécondation obligatoire effectuée, la femelle meurt ; sa paroi durcit et brunit pour donner le kyste brun, contenant la descendance en larves, qui se détache des racines.

La substance gélatineuse constitue donc une barrière entre le milieu extérieur et l'oeuf et permet à ce dernier, dans un milieu très sec, de terminer son développement (De Guiran et Nechter, 1970).

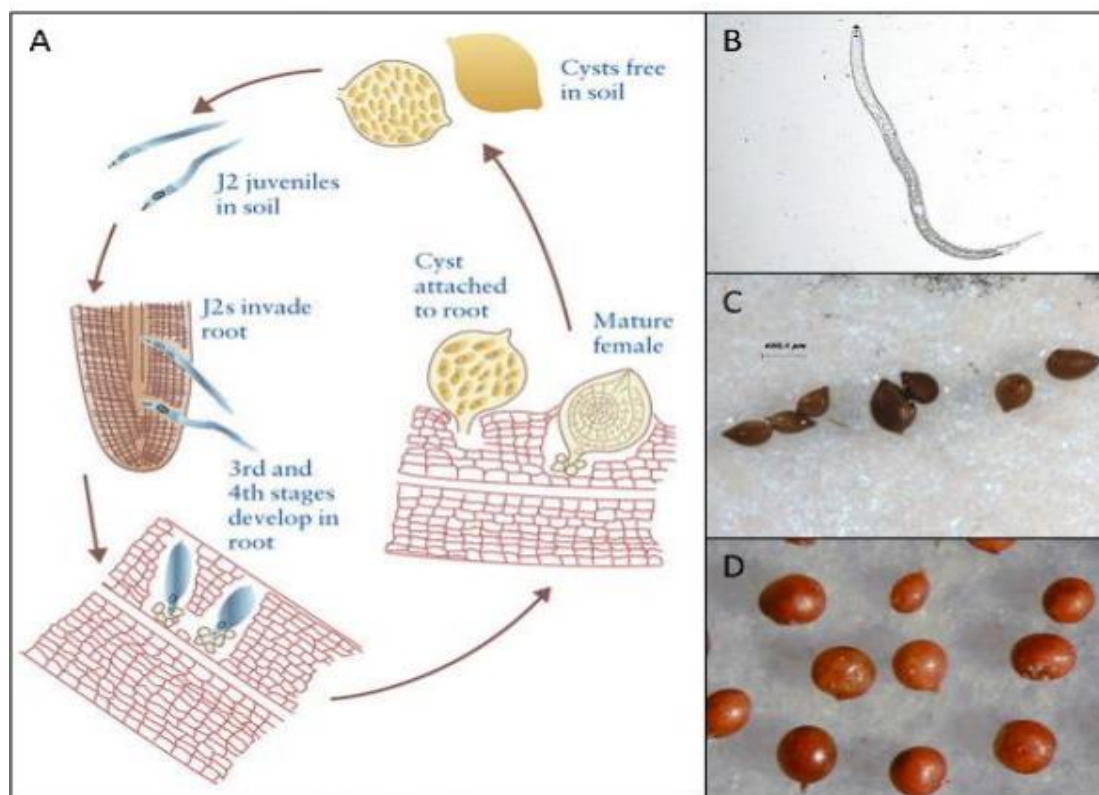


Fig. 17- Cycle biologique schématique d'un endoparasite sédentaire à kyste (d'après Bridge and Starr (2007)) et exemples (photographies au microscope optique) (crédits : ANSES, LSV).

III.2.5.3. Phénomène d'enkystement

Tous les nématodes sont des animaux aquatiques, quand l'eau vient à manquer, ces némathelminthes selon les espèces meurent, passent en vie ralentie, ou comme les protozoaires se déshydratent ou s'enkystent. Certains nématodes enkystés ont pu ainsi être conservés vivant pendant plusieurs dizaines d'années (Bachelier, 1971).

L'enkystement est une forme de conservation des femelles adultes qui caractérise le genre *Heterodera*.

Du point de vue biochimique, l'enkystement est une oxydation des polyphénols de la cuticule de la femelle adulte, sous l'action d'une enzyme appelée polyphénoloxydase (Ritter, 1965a ; Ritter, 1971). Cette oxydation est nécessaire à la stabilisation du collagène souple durant la croissance de l'organisme afin qu'il puisse persister très longtemps dans le sol

(Shepherd et al. ,1972 ; Sacristan et al. 1983 ; Wouts, 1985) en l'absence de la plante hôte. Cette durée peut atteindre plus de 20 ans (Rivoal, com. pers. in Mokabli, 2002).

III.2.5.4. La Diapause

H. avenae se caractérise par une diapause des larves de deuxième stade contenues à l'intérieure du kyste dont le rôle serait principalement de synchroniser les sorties larvaires avec la période de culture de leurs hôtes (céréales), qui sont indispensables pour leurs développement et de répartir les sorties larvaires en plusieurs cycles annuels successifs (Rivoal, 1983). Cette diapause permet, en outre, à l'espèce de garantir sa survie en plus de la protection assurée par le tégument du kyste.

III.2.5.5. Le polymorphisme

L'existence d'un certain nombre de formes physiologiques qui diffèrent aussi bien dans le schéma d'éclosion (écotypes) Clarke et Perry (1977) que dans les spectres de virulence (pathotypes) Andersen et Andersen (1982), traduit un polymorphisme très accentué chez *H. avenae*. Ceci a permis d'identifier au moins 10 pathotypes (Rivoal, 1983 ; Rivoal et al., 1985) caractérisés par leur différence de virulence vis-à-vis de l'orge, de l'avoine et du blé.

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

III.2.5.6 L'écotype

Un écotype traduit l'adaptation de certaines races à des écosystèmes particuliers, (Caubel et al., 1980). Cette adaptation se caractérise par un décalage dans le cycle d'éclosion, conséquent à une différence de diapause (Rivoal, 1983 ; Rivoal et al., 1985). Les populations d' *H. avenae*, présentent deux types de diapause. La première estivo-automnale qui dure environs quatre mois caractérisent les populations situées en climats méditerranéen. La seconde, estivo-automnale dite facultative, est observée chez les populations en climat océanique plus ou moins tempéré (Rivoal, 1983 ; Rivoal et Cook, 1993).

III.2.5.7. Le pathotype.

Dans le cas d'*H. avenae*, les pathotypes sont définis par leur aptitude de se multiplier ou non sur un ensemble de plantes d'une gamme d'hôtes constituée d'orge, de blé, d'avoine ou de seigle (Anderson et Anderson, 1982).

III.3. Mode de dissémination des nématodes phytoparasites

Les nématodes phytoparasites ne se déplacent que sur de petites distances : un nématode peut parcourir en moyenne 20 cm par an. A ce rythme, il semble surprenant que es populations de nématodes soient aussi largement distribuées à travers le monde (Sadek, 1977). Ainsi, pour les nématodes qui sont transportés passivement, le vecteur est un facteur important, car leur survie dépend du lieu de dépôt. La colonisation ultérieure d'un espace se ferait soit parce que le milieu est ou leur est devenu favorable, soit par suite d'une adaptation de certains individus un environnement nouveau (Sadek, 1977 ; Cadet *et al.*, 1994). De par leur petite taille, les nématodes peuvent être transportés passivement par plusieurs vecteurs (Sadek, 1977).

a. Anthropique, via le sol transporté par les outils

Les nématodes peuvent être transportés par les engins aratoires. Une étude, a été faite sur trois années successives, de la répartition de *Pratylenchus penetrans* suggère que ce *Pratylenchidae* serait disséminé à l'intérieur d'une même parcelle par les outils de labours, mais pas par les outils de récolte (Morgan *et al.*, 2002).

b. Par le vent

La dissémination des nématodes par le vent a été mise en évidence pour plusieurs espèces de Tylenchida (Meagher, 1977). Elle nécessite non seulement des conditions climatiques particulières (vents violents sur sols découverts) mais surtout la capacité pour le nématode de supporter des conditions de sécheresse très défavorables (Carroll et Viglierchio, 1981).

c. Par les eaux

De nombreux auteurs (Croll et Mathews, 1977 ; Ferraz et Brown, 2002 ; Burr et Robinson, 2004) considèrent que la dissémination des nématodes par les eaux est un phénomène acquis

d. Active, dans le sol

Bien que considérés comme secondaires (Norton, 1978), les déplacements actifs de nématodes phytoparasites dans le sol sont connus depuis longtemps. De nombreux composants des exsudats racinaires sont en effet susceptibles d'attirer les nématodes (Spiegel *et al.*, 2003).

III.4. Les facteurs influant aux développements de nématodes phytoparasites

L'influence des facteurs abiotiques sur les populations de nématode sont fait l'objet de nombreux travaux, mais ces études ne fournissent pas d'informations sur la dynamique de la communauté. Or, un peuplement naturel de nématodes phytoparasites est souvent plurispécifique. Certes, la plante, est la principale force conductrice au sein des peuplements nématologiques, mais les facteurs abiotiques sont importants pour le maintien d'un état stable. Dans les peuplements de nématodes, différents facteurs tels le sol, l'hôte ou la compétition, interagissent et influencent la composition et la structure (Norton, 1989).

III.4.1. Facteurs abiotiques

a- Facteurs climatiques

▪ Température

L'influence de la température, en particulier sur l'éclosion des larves peut expliquer en partie, pourquoi les périodes d'activité du parasite sont différentes selon les régions (Choppin, 1971). La température optimale de développement pour *Heterodera avenae*, se situe entre 20 et 25°C, alors que le développement des larves de deuxième stade, est plus rapide à 2°C qu'à 15° ou 10° C (Fisher, 1981).

▪ Humidité

L'humidité est un facteur clé, car l'eau permet les déplacements et donc la dispersion. Les dégâts sont favorisés par les périodes de forte humidité, survenant l'hiver dans le midi ou au printemps dans le nord. Ils sont accentués par une sécheresse, intervenant à la fin du printemps. Les nématodes ne peuvent se développer que lorsque le milieu est suffisamment humide. Tout dessèchement du sol entraîne la dessiccation des nématodes (Bachelier, 1978).

b- Facteurs édaphiques

▪ Nature physique du sol

Les sols légers sont les plus favorables comme par exemple les sols crayeux (Choppin, 1971). Selon (Ritter, 1971), les sols légers favorisent le déplacement d'*Heterodera avenae*, et les sols lourds permettent difficilement les déplacements.

D'après Trigiano *et al.*, (2004), la texture et la structure de sol sont d'importance primaire en déterminant le nombre et le type de nématode.

▪ Porosité

La porosité favorise le déplacement des nématodes vers les horizons profonds ou ils constituent un potentiel infectieux important assurant ainsi la pérennité du parasite (Caubel *et al.*, 1980).

- **pH**

Les nématodes à kyste n'éclosent pas bien dans les sols très acides (pH= 4) ou les sols alcalins (pH= 8). Ils préfèrent les sols avec un pH voisin de la neutralité de 6 (Yepsen, 1984).

III.4.2. Facteurs biotiques

a- Plantes hôtes

Outre le facteur hydrique, le matériel végétal est le principal facteur influençant le nombre de nématodes dans le sol, qu'ils soient phytoparasites ou non. Le système racinaire de la plante est la composante biotique majeure du sol, pourvoyeur d'énergie pour la majorité de la faune tellurique. Selon leur nature et le stade physiologique, les plantes agissent différemment sur les nématodes : les plantes pérennes sont une ressource permanente qui permet un grand degré de maturité des peuplements du sol (Freckman et Caswell, 1985), tandis que les plantes annuelles représentent une source alimentaire éphémère pour les nématodes, particulièrement pour les parasites obligatoires.

b- Matière organique

Les nématodes, en dépit de leur haute densité, contribuent peu la minéralisation directe de la matière organique (Sohlenius, 1980). Cependant, ils semblent être d'importants régulateurs de la décomposition de la matière organique et de la libération des éléments nutritifs dans les écosystèmes naturels et dans les agro-systèmes (Sohlenius *et al.*, 1987).

III.4.3. Symptomatologie

Dès sa pénétration dans les racines, *H. avenae* induit une intense prolifération de racines secondaires excessivement ramifiées qui présentent des boursouflures ou gonflement aux points de pénétration des nématodes (Andersen, 1961 ; Sosa Moss, 1966 ; Rawsthorne et Haugue, 1986).

Chez *H. avenae*, les symptômes sont très spécifiques représentés par des noeuds au niveau des points d'inoculation (Mokabli et Ouanighi non publié). L'infestation provoque souvent un ralentissement de la croissance des plantes, un rougissement des feuilles et une réduction du tallage conduisant au champ à des plantes naines et chétives (Lassere, 1994).

III.4.4. Gestion de nématodes phytoparasites

Dans les systèmes culturaux où les rendements ne correspondent pas aux objectifs fixés. Il est essentiel d'établir un diagnostic, ensuite, des mesures d'intervention adaptées permettront de maintenir les densités de populations au-dessus des niveaux nuisibles.

a- Mesures prophylactiques

La base de lutte contre les nématodes durables est de maintenir un sol sain.

* L'utilisation des variétés résistantes aux nématodes (Sikora *et al.*, 2005).

* A une interdiction d'exportation des produits agricoles (si les échantillons contiennent des nématodes de quarantaine) du fait du statut de quarantaine de certaines espèces de nématodes afin de ne pas les introduire dans le pays (Blanchard, 2006).

* Nettoyer le matériel après un travail dans une parcelle contaminée (Caporalino *et al.*, 2009).

b- Les méthodes de lutte physique**▪ La thérapie à l'eau chaude :**

Les *Ditylenchus* mobiles sont tués en 2 heures à 43 C° et en une heure à 44C°. Ce sont les températures que l'on choisira pour le traitement des échalotes (Whitehead, 1997).

▪ La solarisation du sol :

C'est une procédure hydrothermale qui se fait en sol humide couvert d'un film plastique et exposé au soleil pendant les mois chauds. Le processus de chauffage et l'efficacité de la solarisation du sol dans le contrôle des ravageurs sont en fonction de la relation entre le temps et la température (Barakt, 2005).

c- Les méthodes de lutte biologique

La lutte biologique contre les nématodes phytoparasites emploie des organismes vivants antagonistes aux nématodes comme des champignons ou des bactéries (Stirling, 1991 ; Davies & Spiegel, 2011). Des différents types des champignons utilisés en lutte contre les nématodes phytoparasites ont été décrits tels que : les champignons prédateurs comme *Arthrobotrys irregularis*, un hyphomycète qui est capable de piéger rapidement les juvéniles de nématodes à galles (Cayrol, 1981). Les champignons ovicides comme *Paecilomyces lilacinus* (Jatala *et al.*, 1979 ; Cayrol *et al.*, 1992 ; Kiewnick & Sikora 2006) ou *Verticillium chlamydosporium*, qui attaquent les embryons dans les oeufs de nématodes (Godoy *et al.*, 1983a ; Kerry *et al.*, 1984 ; Rodriguez-Kabana *et al.*, 1984 ; Kerry & Deleu, 1991 ; de Leij *et al.*, 1993). Cependant, malgré leur grande ubiquité et leur polyphagie, certains de ces organismes sont difficiles à cultiver sur des milieux synthétiques ; alors, leur utilisation en tant qu'agents de lutte biologique reste limitée.

Ils existent aussi des bactéries antagonistes des nématodes, par exemple, *Pasteuria spp.*, une bactérie à endospores. *Pasteuria spp.* sont des agents pathogènes de plusieurs genres des nématodes phytoparasites (Mukhaimar, 2016).

d- La lutte chimique

L'application des produits chimiques est difficile, de plus ils sont coûteux et toxiques (Caporalino, 2009). Les plus utilisés sont les fumigants du sol, les nématicides les organophosphorés et les carbamates qui sont aussi des insecticides. Cependant, leur toxicité pour l'environnement réside dans les débris toxiques dans les parties comestibles de la plante (Blanchard, 2006). En effet, plusieurs nématicides chimiques sont utilisés pour lutter contre les nématodes phytoparasites, incluant des fumigeant (1,3-dichloropropène, chloropicrin, dazomet, éthylène dibromide, métham-sodium, méthyle bromide, méthyle isothiocyanate) et de non-fumigants tels que des organophosphates (Ebufos, Ethoprophos, Fenamiphos, Fensulfotion, Isazofos, Terbufos, Thionazin) et des carbamates (Aldicarb, Aldoxycarb, Carbofuran, Cleothocarb, Oxamyl) . En générale, les fumigants, sont plus efficaces contre les nématodes phytoparasites que les non-fumigeant (Mukhaimar ,2016), mais ils sont aussi plus nocifs sur l'environnement (Hutchinson *et al.*, 1999).

La majorité de nématodes phytoparasites passent leurs vies confinées dans le sol ou dans les racines de plantes, et la livraison d'un produit chimique directement à la rhizosphère de plantes est difficile. La surface extérieure de nématodes est biochimiquement une faible cible et imperméable a de nombreuses molécules organiques. La livraison d'un composé toxique par une voie orale est presque impossible, car la plupart des nématodes phytoparasites ingèrent les molécules des nématicides seulement lors de l'alimentation sur les racines des plantes. Les nématicides efficaces sont généralement très toxiques a un large spectre d'espèces et leur utilisation présente un risque élevé pour la santé humaine et de l'environnement (Chitwood, 2003).

e- La lutte génétique

La lutte génétique est le plus important moyen de lutte contre les nématodes phytoparasites par l'utilisation de plantes cultivées résistantes. La lutte génétique contre les maladies des plantes repose sur l'amélioration et/ou la création de variétés cultivées en introduisant des gènes de résistance dans des lignées cultivées d'espèces sauvages apparentées ou encore chez des variétés populations locales. Cette stratégie repose sur les connaissances des mécanismes moléculaires de résistance des plantes (Le Roux, 2008).

L'origine des résistances contre des nématodes phytoparasites sont très souvent des plantes sauvages apparentées, où les résistances ont été introgressées chez des plantes cultivées.

Deuxième partie :
Expérimentation

Chapitre IV : Présentation de la région d'étude

IV.1. La wilaya de Médéa

IV.1.1. Situation régionale

La wilaya de Médéa est entourée des wilayas de Blida au Nord, Bouira à l'Est et Aïn Défla à l'Ouest. Dans les régions voisines, il y a la wilaya de Msila au Sud-Est, Djelfa au Sud et Tissemsilt au Sud-Ouest.

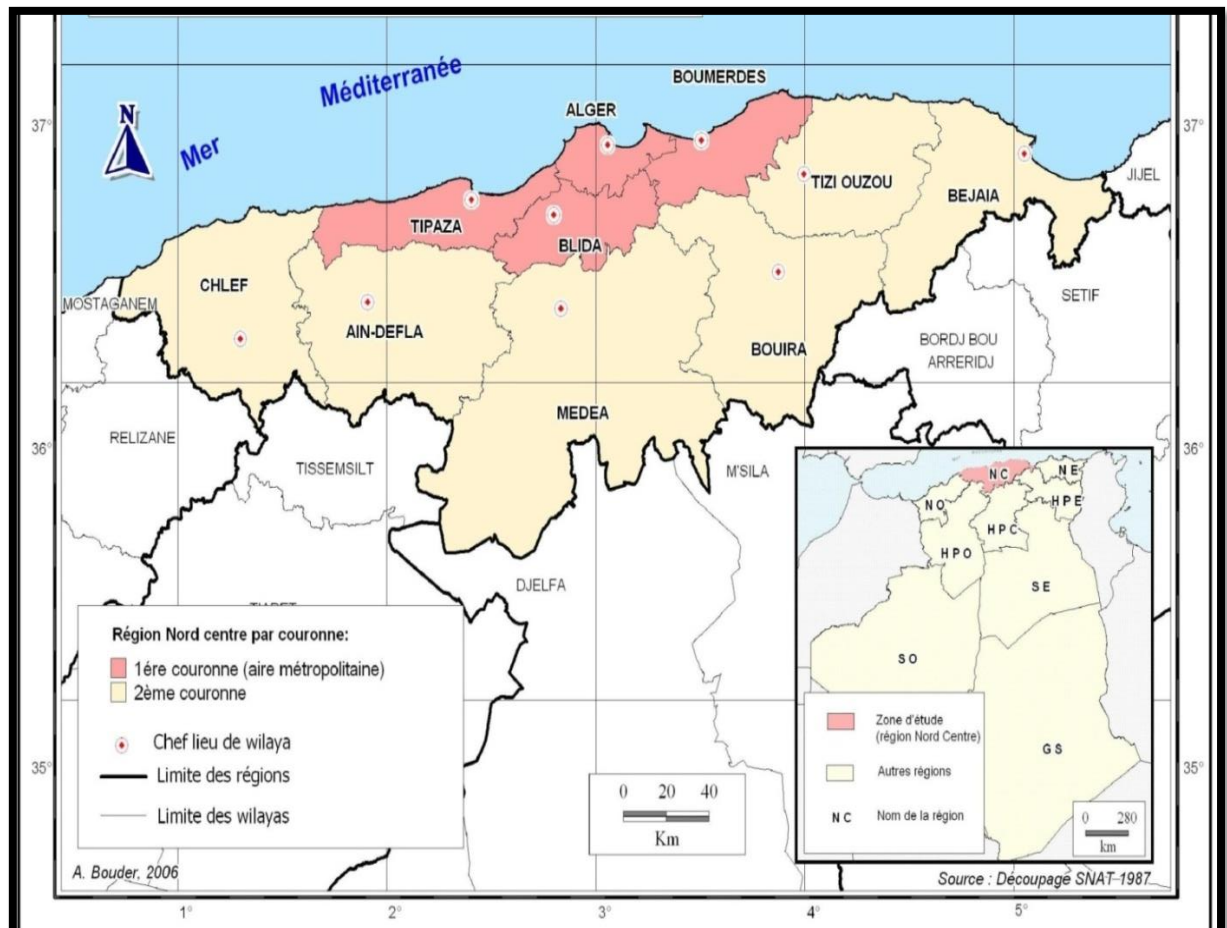


Fig. 18 - Situation de la région du Nord centre au sein du territoire national (DGF, 2018).

IV.1.2. Situation géographique

Selon les statistiques issues de la cartographie de l'inventaire Forestier National (IFN) 2008, la wilaya de Médéa s'étend sur une superficie de 871 612 hectares. La surface agricole utile (SAU) représente 338630 hectares, soit 38,6 % de la surface totale et 43,77% de la superficie agricole totale (SAT) qui est estimée à 773 541 ha. Cette importante surface représente 25% de la SAU de la région Nord Centre. Cet atout en sol, se trouve malheureusement amoindri par le manque d'eau, d'où la part insignifiante des

terres agricoles irriguées. La surface irriguée n'est que de 9889 ha, soit 2,9 % de la SAU totale (Direction des forêts Médéa, 2008).

La wilaya de Médéa est enserrée entre les longitudes 2° 10' et 3° 20' Est et les latitudes 35° 26' et 36° 30' Nord. Elle se situe au centre géographique de l'Algérie du Nord et occupe la partie centrale du Tell qui s'étend des monts de Bouira à l'Est à ceux de l'Ouarsenis à l'Ouest et allant des versants Sud de l'Atlas Blidéen au Nord jusqu'aux premiers contacts des monts du Titteri avec les Hautes-plaines au Sud. Elle est caractérisée par un relief contrasté, constitué de montagnes de l'Atlas tellien, du plateau de Médéa et de la plaine des Béni Slimane.

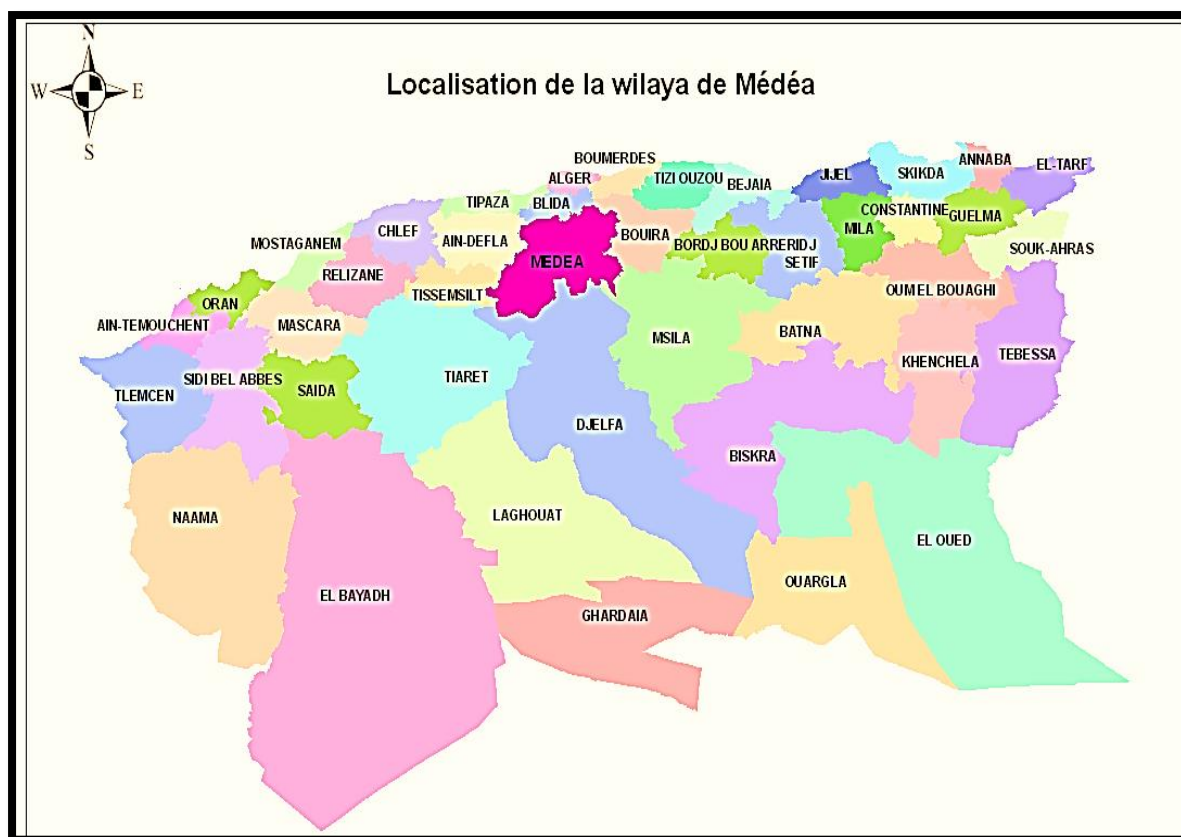


Fig. 19 - Situation géographique de la wilaya de Médéa (Echelle : 1/470 000^{ème}).

De par cette situation, la wilaya ouvre l'accès aux régions des hauts plateaux et du Sud du pays à partir d'Alger, à travers les gorges de la Chiffa, seule voie naturelle de pénétration de l'Atlas central. C'est cette situation qui a permis à Médéa d'exister à travers les âges jusqu'à briguer un statut administratif des plus importants à l'époque Ottomane devenant le siège du Baylek du Titterie.

IV.1.3. Superficie

La superficie totale de la wilaya de Médéa est de 871 612 ha répartie en :

- Terres agricoles (Cultures associées aux parcours et arboriculture fruitière en sec) couvrent 630 104 ha, soit 72 % de la superficie totale de la wilaya ;
- Terres forestières (forêts, maquis et reboisements) occupent 152 931ha correspondant à un taux de boisement 18% ;
- Terres de parcours occupent 65 523 ha soit 7% ;
- Terres improductives occupent sur une superficie de 23 054 ha, soit 3 % (fig. 20).

Selon la direction des services agricoles de la wilaya, la surface agricole utile régionale est dominée par les cultures céréalières (47%), soit près de 126 495 ha, avec une production de 2 116 237 q estimés au cours de la campagne agricole 2012/2013.

La jachère occupe 39.6% des terre non travaillées par manque de l'utilisation de fertilisants liés au pouvoir d'achat des agriculteurs constituent un manque à gagner considérable pour les exploitants de la région.

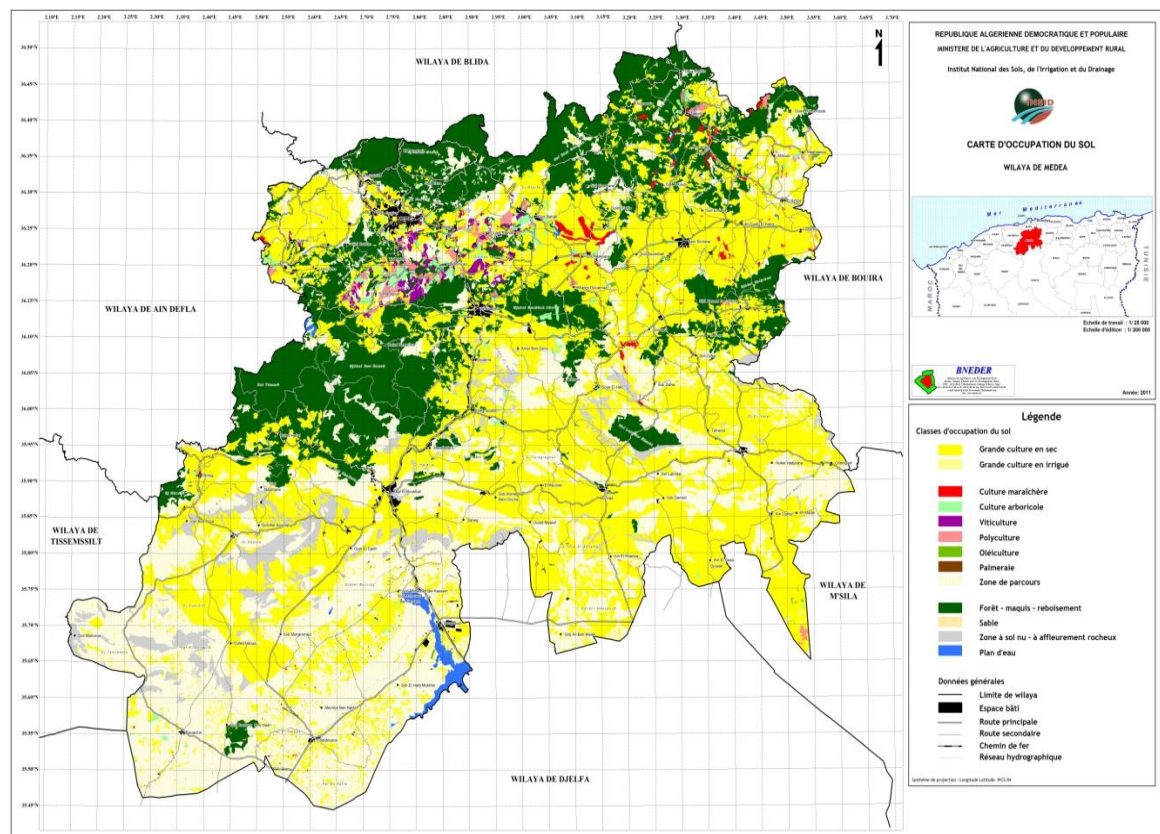


Fig. 20. Carte d'occupation du sol de la wilaya de Médéa (DGF, 2018).

IV.1.4. Climat

D'une manière générale, la répartition des pluies en Algérie obéit à certaines lois (Seltzer, 1946), à savoir :

- La quantité des pluies augmente avec l'altitude.
- Elle croît d'Ouest en Est.
- Elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

Selon le Diagramme d'Emberger, le climat de la wilaya se situe dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver tempéré (fig. 21).

- Les gelées sont fortement influencées par l'altitude, on enregistre 21 j/an.
- La pluviométrie moyenne est de 644.2mm/an.
- Les températures des moyennes des maxima et minima sont respectivement de 31.3°C et 4°C avec une moyenne annuelle de 17.65°C.

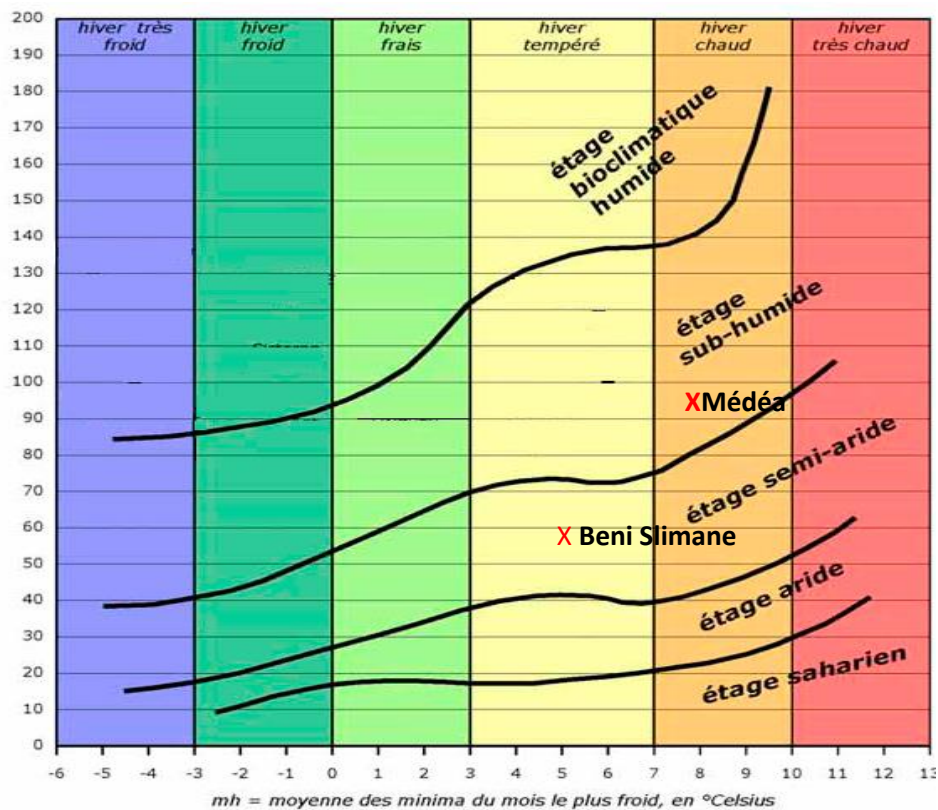


Fig. 21 - Diagramme d'Emberger de la wilaya de Médéa (SAD, 2020).

IV.2. Présentation du site expérimental

IV.2.1. Plaine de Béni-Slimane

La plaine de Béni-Slimane se situe dans la partie amont du bassin de l'Oued Isser. Elle est située dans l'anticlinale des Arib, partie intégrante du vaste anticlinorium des Bibans qui s'étend sur 150km et formant l'alignement des montagnes qui se succèdent de Sétif à Berouaghia. La plaine de Béni-Slimane et celle de Arib sont considérées comme le prolongement occidental de la dépression de la Soummam.

La plaine de Béni-Slimane est limitée au Nord par la chaîne littorale et au Sud par la chaîne de Sour El ghozlane avec une superficie de 2 000ha et les altitudes moyennes varient de 550 à 700m.

La commune de Béni Slimane est située à l'Est de la ville de Médéa en pleine région agricole avec une altitude de 600 à 860m. L'agglomération chef-lieu est traversée d'Ouest au Nord Est par la RN18 qui relie ce dernier avec les communes des wilayas de Médéa et de Bouira (fig. 22). Elle s'étend sur une superficie de 9300 ha et se situe au Nord de la daïra. Elle est limitée au Nord par la commune de Sidi Rabie, au Sud, par la commune de Souaghui, à l'Est par les communes d'El Guelb Kebir et Bir Ben Abed et à l'Ouest par les communes de Bouskene et de Bouchrahil.

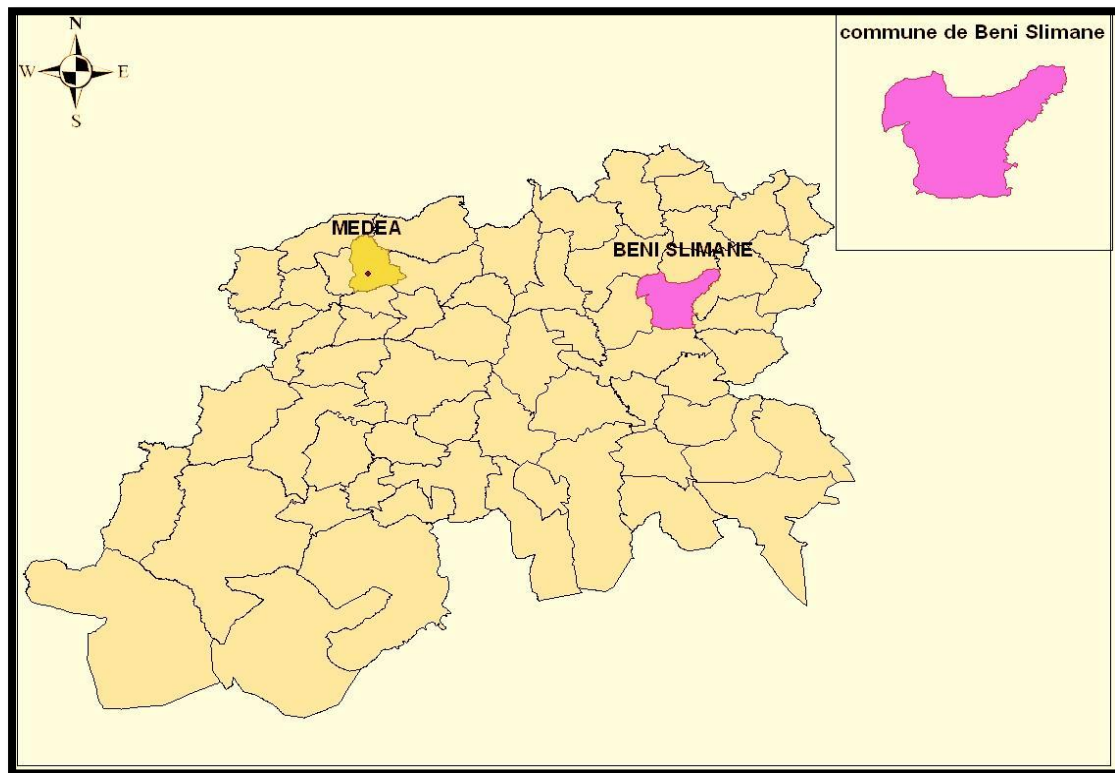


Fig. 22 - Localisation de la commune de Béni-Slimane (DRE, 2015) (Echelle : 1/490 000^{ème}).

IV.2.2. Caractéristiques climatiques de la période (1986-2019).

Le climat méditerranéen de la région de Béni-Slimane est semi-aride sec et chaud en été, les pluies varient annuellement entre 350mm et 500mm, c'est presque l'isohyète limite de la céréaliculture pluviale.

a)- Précipitations

Les relevés pluviométriques de la station météorologique de la commune de Béni-Slimane observés, sur lesquels se base notre étude ont couvert la période allant de 1986 à 2019, soit une série statistique de 33 années.

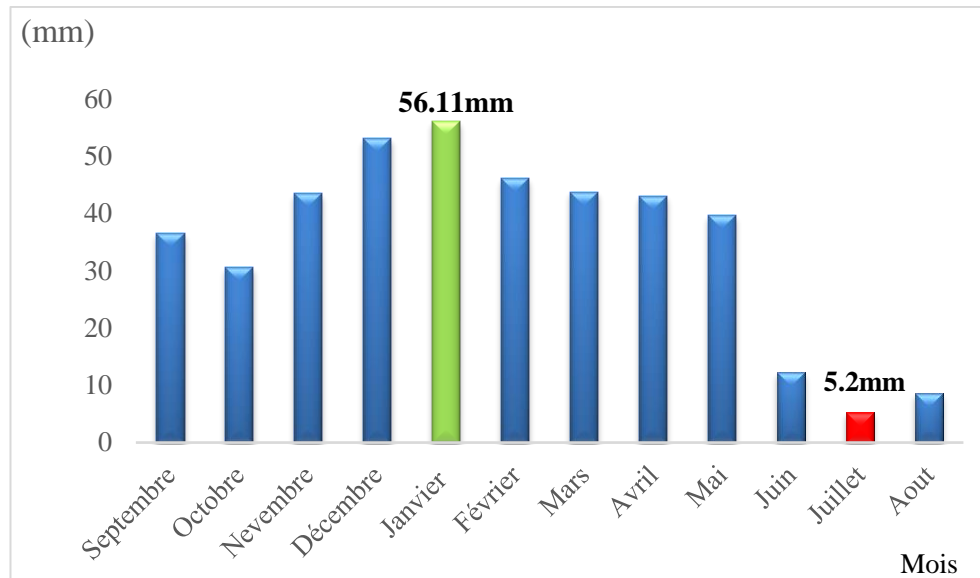


Fig. 23 - Précipitations mensuelles dans la région de Béni-Slimane (1986-2019).

Le maximum de précipitation est observé au mois de Janvier et le minimum en Juillet (fig. 23). Il existe deux saisons, l'une humide d'Octobre à Juin et l'autre quasiment sèche, de Juillet à Septembre.

b)-Les températures

La série statistique des températures maximale, moyenne et minimale, étudiée sur une période de 33 ans montre que les températures sont relativement clémentes. Les mois les plus froids sont Janvier et Février et les mois les plus chauds sont Juillet et Août. Quant à l'amplitude thermique moyenne, elle varie entre 10 et 15° C pour les saisons automnale, hivernale et printanière et entre 17 et 20°C pour la saison estivale.

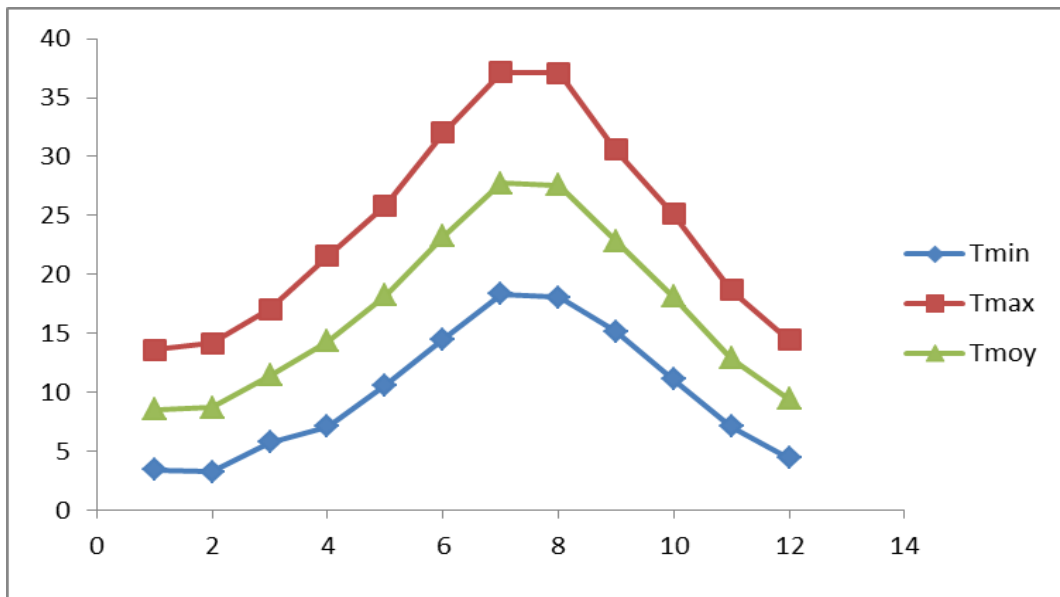


Fig. 24 - Températures maximales, minimales et moyennes (1986-2019).

IV.2.2.1. Diagramme Ombrothermique

La figure ci-dessous montre les variations de la température et pluviométrie durant la période (1986 à 2019).

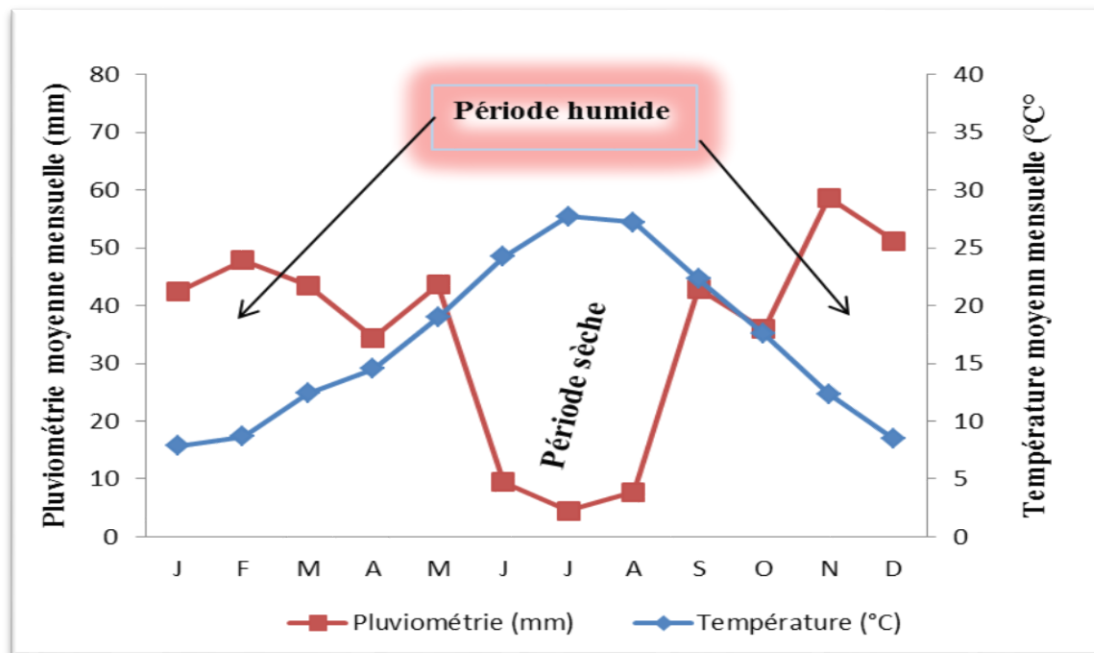


Fig. 25 - Diagramme Ombro-thèrmique de la station de Béni-Slimane (1986-2019).

Ce diagramme donne un meilleur aperçu entre la saison humide qui concerne les mois allant de Novembre à Avril et la saison sèche qui va de Mai à Octobre. Cette répartition des pluies et des températures dans le temps indique la nécessité d'irriguer les cultures durant les périodes allant du mois d'Avril au mois d'Octobre.

IV.2.2.2. Autres phénomènes climatiques

Les phénomènes climatiques (gelée, neige, orages, grêle et sirocco) ont été observés à la station météorologique de Béni-Slimane sur une période de 27 ans.

Il a été relevé le nombre de jours d'apparition par mois du phénomène observé. A ce titre, les relevés effectués qui ont été examinés présentent la fréquence d'apparition du phénomène sur 27 ans.

a)-Gelée

Tableau 02. Fréquence des gelées sur 27 ans (1986-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Nbre de jours (27ans)	310	203	79	16	14	01	00	00	00	08	44	189	864
%	35.87	23.49	9.14	1.85	1.62	0.15	00	00	00	0.92	5.09	21.87	100
Jours	11	01	02	00	00	00	00	00	00	00	10	05	29

(SAD, Béni Slimane, 2019).

On remarque que le nombre de jours de gelées par an est de 29 jours avec de fortes fréquences pour Janvier, Novembre et Décembre.

b)- Neige

Tableau 03. Fréquence de la neige sur 27 ans (1986-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Nbre de jours (27 ans)	11	16	05	00	00	00	00	00	00	00	00	09	41
%	26.82	39.02	12.19	00	00	00	00	00	00	00	00	23.81	100

(SAD, Béni Slimane, 2019).

Le nombre de jours de neige est très faible sur 27 ans. On peut dire qu'il neige rarement sur la plaine de Béni-Slimane.

c)- Orages

Tableau 04. Fréquence des orages sur 27 ans (1986-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Nbre de jours (27 ans)	13	7	3	12	39	26	13	35	28	34	07	07	224
%	5.8	3.13	1.34	5.36	17.4	11.61	5.80	15.63	12.5	15.18	3.13	3.13	100

(SAD, Béni Slimane, 2019).

On remarque que les orages sont fréquents en période estivale.

d)- Grêle**Tableau 05.** Fréquence de la grêle sur 27 années (1986-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Nbre de jours (27 ans)	02	05	04	04	02	02	00	00	09	01	00	02	31
%	4.76	9.52	9.52	9.52	4.76	4.76	0	0	42.86	4.76	00	9.52	100

(SAD, Béni Slimane, 2019).

Sur 27 ans, la région de Béni-Slimane n'a connu que 31 jours de grêle, ce qui est insignifiant. Cependant, en termes de fréquence, c'est au mois de septembre qu'il y a eu le plus grand risque de grêle.

e)-Sirocco**Tableau 06.** Fréquence du sirocco sur 27 années (1986-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Nbre de jours (27 ans)	11	4	26	16	52	90	107	92	75	54	02	05	534
%	2.64	0.96	5.53	3.61	8.17	13.7	16.59	18.51	16.35	12.2	0.48	1.2	100
Jours	0.55	0.2	1.15	0.75	1.7	2.85	3.45	3.85	3.4	2.55	0.1	0.25	21

(SAD, Béni Slimane, 2019).

Le sirocco est fréquent dans la zone d'étude. Il se manifeste de Mai à Octobre. Ce vent sec et chaud peut causer des dégâts importants aux cultures en faisant augmenter la température et en asséchant le sol. Durant l'année, on observe en moyenne 21 jours de sirocco.

f)- Vents

Tableau 07. Fréquence des vents sur cinq ans (2008-2013).

Mois	Nord	Nord- est		Sud- est	Sud	Sud- ouest	Ouest	Nord- ouest	
Janvier	41	18	29	12	00	58	283	89	
Février	56	24	44	2	00	50	187	83	
Mars	56	43	49	27	00	78	224	73	
Avril	69	40	72	26	00	75	165	70	
Mai	114	36	69	26	00	40	183	64	
Juin	122	97	44	0	00	40	109	39	
Juillet	188	89	66	28	00	38	128	35	
Aout	143	62	75	10	00	39	144	30	
Septembre	112	71	51	31	00	42	170	32	
Octobre	73	28	56	30	00	112	227	28	
Novembre	50	18	57	21	00	66	281	49	
Décembre	62	23	51	2	00	54	311	45	
Total	1086	549	663	256	00	692	2412	637	6304
%	17.23	8.71	10.52	4.2	00	10.98	38.26	10.10	100.00

(SAD, Béni Slimane, 2019).

Les vents dominants en période hivernale ont une direction dominante Ouest. En période estivale (Juillet et Août) et en Septembre, les vents sont de direction Nord-Ouest.

g)-Evapotranspiration (ETP)

Les données sur l'ETP ont été calculées par la formule de Penman par l'ANRH.

Tableau 08. ETP en mm de la commune de Béni-Slimane.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
ETP (mm)	38.97	53.5	85.26	122.4	166.2	206	223.3	197.6	146.1	97.1	53.3	35.9	1426.6
%	3	4	6	9	12	14	16	14	10	7	4	3	100

(ANRH carte ETP, Algérie).

L'ETP est assez élevée de Mai à Septembre. Elle atteint son maximum en Juillet et son minimum en Décembre et Janvier.

IV.2.3. Caractéristiques climatiques de la campagne (2016/2017)

IV.2.3.1. Régime pluviométrique

Tableau 09. Pluviométrie mensuelle de la campagne (2016/2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Pluvio (mm)	161.1	10.0	25.5	16	12.07	21.3	00	16.5	28.9	04	27.6	47.6	370.8

(SAD, Béni Slimane, 2019).

Les plus grandes valeurs des précipitations et des pluies sont enregistrées durant le mois de janvier. Ces quantités d’eaux ont constitué une bonne réserve initiale pour la culture et un grand déficit au moment des besoins de la culture, dont le cumul total de pluie durant notre cycle de culture est plus de 290mm. On note l’absence de pluies au mois de Juillet.

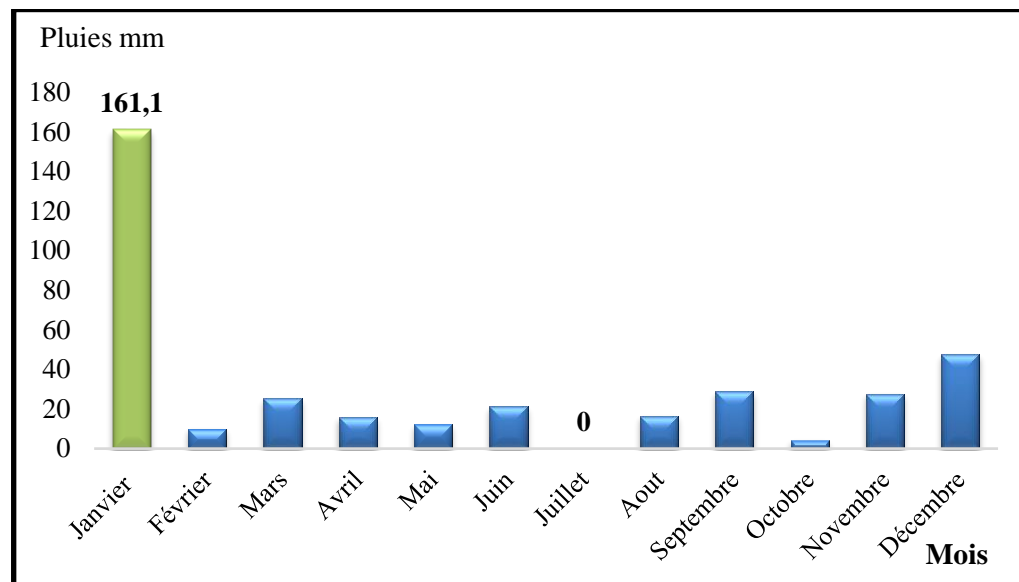


Fig. 26 - Pluviométrie mensuelle de la campagne (2016/2017).

Tableau 10. Evaporation mensuelle de la campagne (2016/2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Evaporation (mm)	49.6	83	65.5	120	173	156.5	209.5	217.5	152.5	108.5	66	33.2

(SAD, Béni Slimane, 2019).

En période estivale, l’évaporation atteint son maximum surtout avec le sirocco. Sous l’effet des températures élevées et de ce vent sec et chaud (sirocco), le sol s’assèche et l’évapotranspiration des plantes augmente, ce qui peut causer des dommages aux plantes (stress hydrique). Le pouvoir évaporant est important durant la période Mai-Septembre.

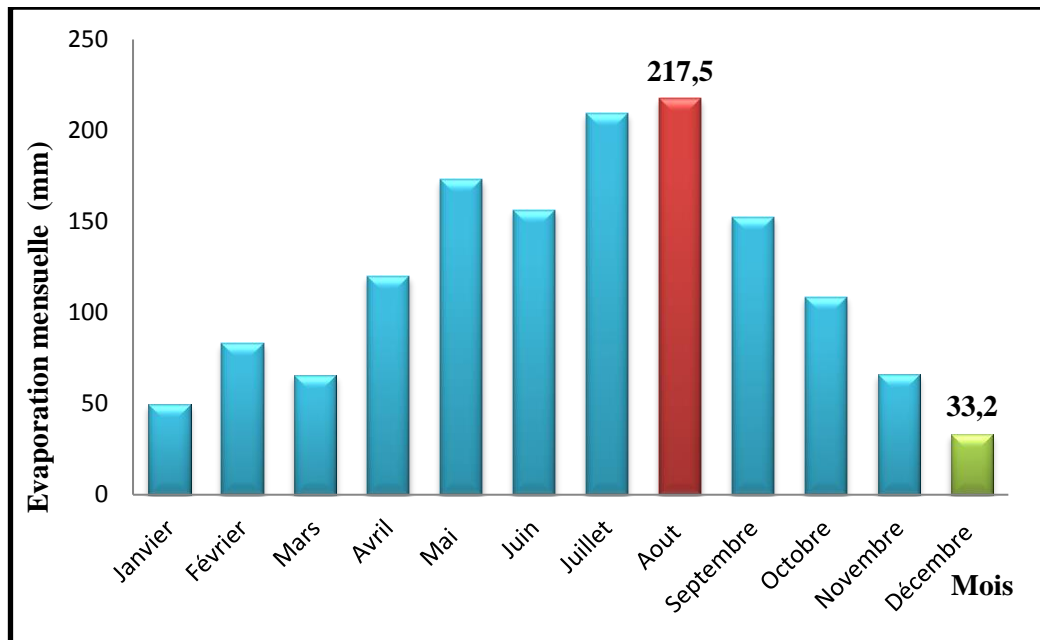


Fig. 27- Evaporation mensuelle de la campagne (2016/2017).

Tableau 11. Aléas climatiques au nombre de jours.

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Total
Gelée	2	02	05	00	00	00	00	00	09
Précipitation	12	08	12	01	04	03	00	00	40
Grêle	00	01	00	00	00	00	00	00	01
Neige	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Brouillard	00	00	00	00	01	00	00	00	01
Rosés	01	01	01	01	00	05	00	00	09
Siroco	00	00	00	00	04	00	00	00	04

(SAD, Béni Slimane, 2019).

La forte gelée est enregistrée durant les trois premiers mois (Janvier, Février et Mars) pendant 9 jours au cours du cycle végétatif de notre culture.

IV.2.3.2. Régime thermique

Tableau 12. Température moyenne mensuelle (2016/2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T min	2.85	1.96	6.53	7.55	9.93	12.9	19.01	18.06	16.61	15.12	6.23	3.66
T max	14.58	13	18.03	21.76	24.08	31.06	36.87	36.78	31.4	29.98	17.5	13.82
Moy (°C)	8.71	7.48	12.28	14.65	17.00	21.98	27.94	27.42	24.00	22.55	11.86	8.74

(SAD ; Béni Slimane 2019).

D'après le tableau n°12, le mois le plus chaud est Juillet avec une température de 27.94°C, précédé par le mois d'Août avec 27.24 °C. Le cumul total de température durant le cycle de notre culture est de plus de 80 °C et les autres mois ont une petite variation de chaleur qui se situe entre 1.23°C et 20.46°C.

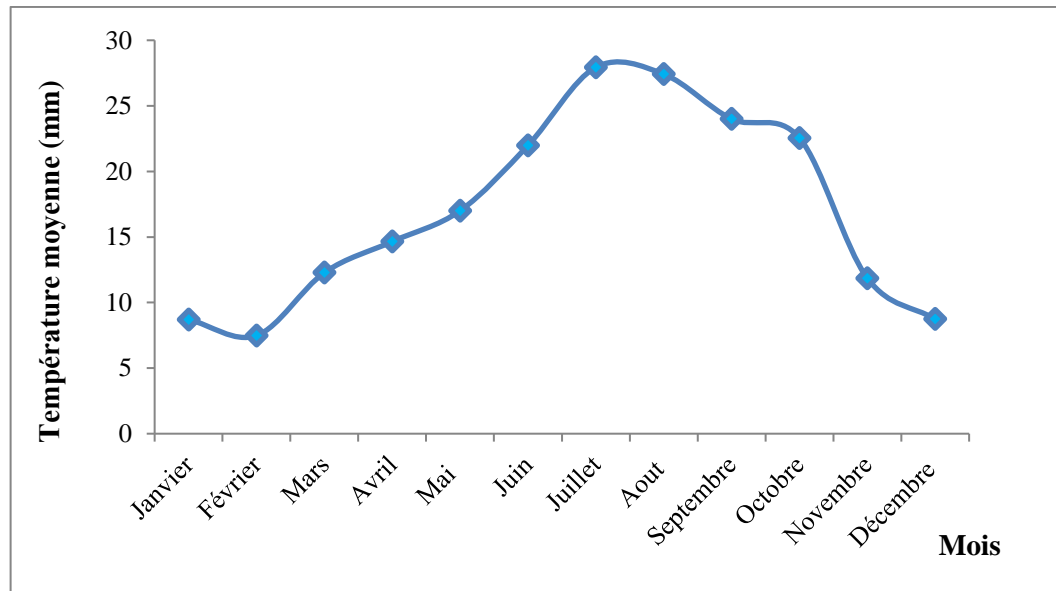


Fig. 28 - Température moyenne mensuelle de la campagne (2016-2017).

IV.2.4. Système de production agricole de la région d'étude

La région d'étude est comprise dans les limites administratives de la commune de Béni-Slimane considérée comme étant le chef-lieu de la Daïra.

IV.2.4.1. Terres agricoles de la commune de Béni-Slimane

Béni-Slimane est une commune rurale dont la vocation première est l'agriculture. Le paysage agricole de cette commune est marqué par l'association céréales- élevage ovin.

Tableau 13. Statut juridique du foncier agricole et superficies.

	Secteur privé	Secteur public			Total
		EAC	EAI	EURL	
SAT (ha)	5 970	1 540	75	1 141	8 726
SAU (ha)	5 415	1 530	75	1 131	8 151
Nbre d'exploitations (unités)	1 507	18	66	2	1 593

(SAD, 2019).

Le secteur privé agricole est dominant tant du point de vue de la superficie (66% de la SAU) que du nombre d'exploitation (94.6%). Quant au secteur public représenté

par ses trois formes juridiques (EAC, EAI et EURL), ils ne constituent que 34% de la SAU totale avec une dominance des EAC (19%) et des EURL (14%).

On voit que le potentiel en terres agricoles du secteur privé est important mais dans sa majorité, il est situé dans des zones marginales et/ou de piémonts par rapport aux terres du secteur public situé sur les meilleures terres de la région.

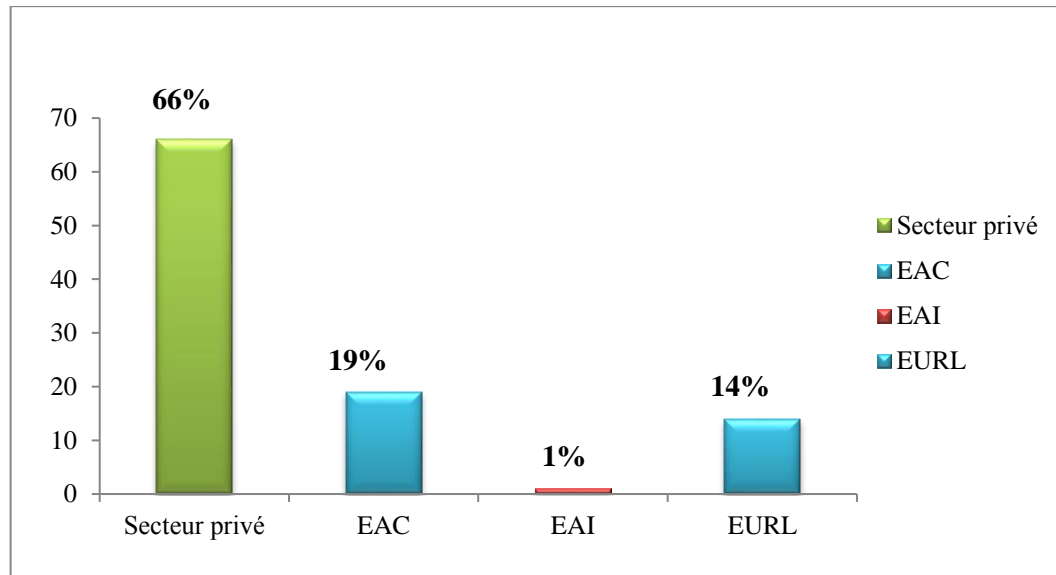


Fig. 29 - Répartition de la superficie agricole utile (SAU) en fonction des différents statuts juridiques (DSA, 2020).

IV.2.4.2. Production végétale de la région de Béni-Slimane

Le système de production de la commune de Béni-Slimane est à caractère extensif avec une domination nette de la sole céréalière (fig. 30). L'assolement pratiqué est biennal en association avec l'élevage ovin (pâturage des chaumes). Les rendements céréaliers dans la zone d'étude sont en moyenne de 14 q/ha.

Les cultures maraichères sont peu pratiquées avec une prédilection pour la culture de carotte avec un rendement moyen de 120 q/ha et la pomme de terre avec un rendement moyen de 150 q/ha.

Cependant, l'arboriculture fruitière avec l'avènement du PNDA a tendance à prendre de proportions importantes dans la commune.

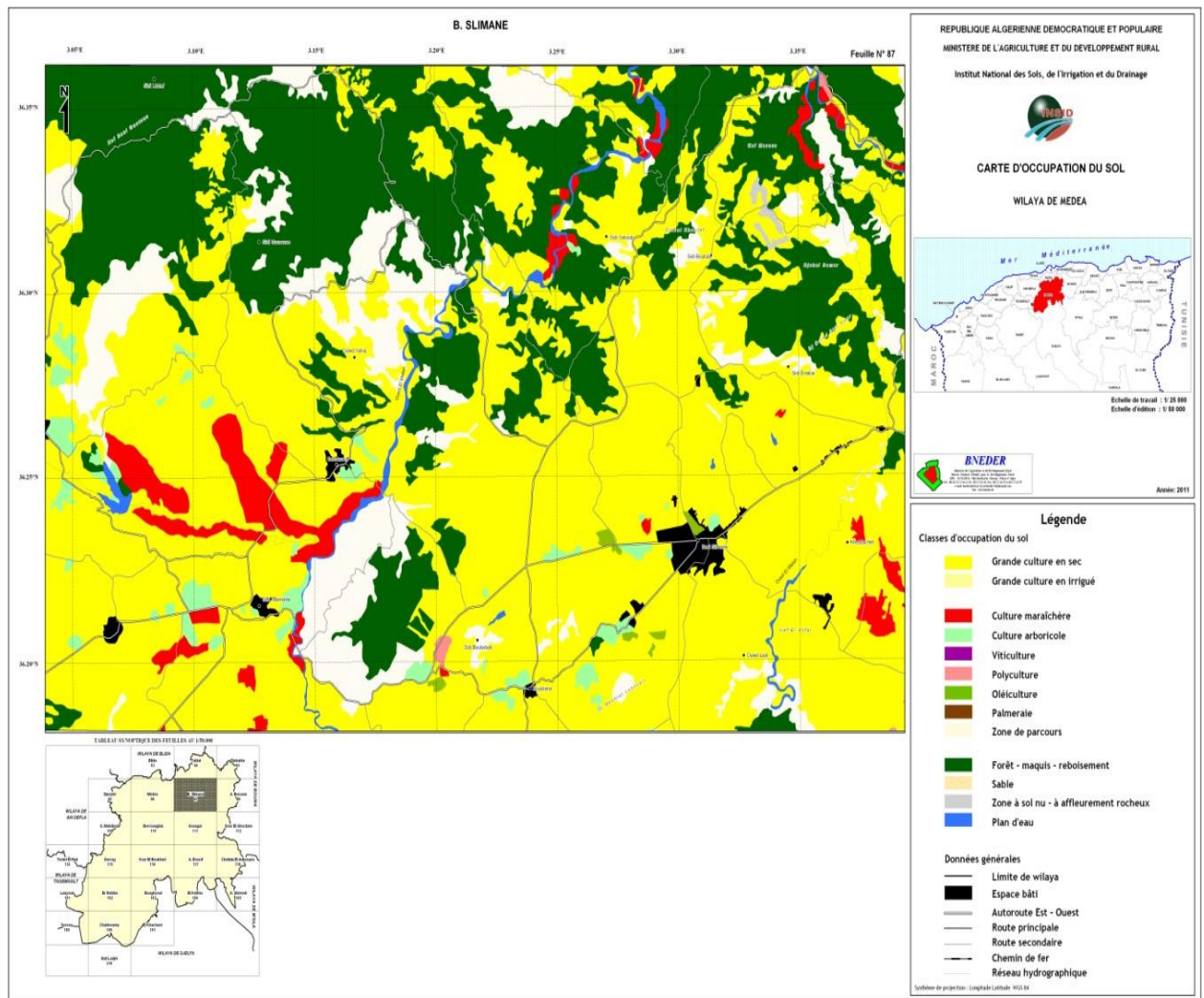


Fig. 30 - Carte d'occupation du sol de la plaine de Béni-Slimane (Echelle ; 1/25000)
(DGF, 2020).

IV.2.4.3. Production animale de la région de Béni-Slimane

La pratique de l'élevage dans la région est ancienne. L'élevage ovin par tradition a toujours constitué un capital pour ces dépenses quotidiennes avant la vente de ces céréales. L'élevage ovin occupe la première place avec 5 582 têtes soit l'équivalent de 837.30 UGB, suivi du bovin avec 344 UGB et les caprins avec 213.75 UGB.

Chapitre V : Matériel et méthodes

V.1. Introduction

Les ravageurs et les maladies des céréales ont été reconnus depuis longtemps comme des contraintes importantes à la production de céréales dans le monde entier et ont été l'objet de recherches approfondies (Mamoudou *et al.*, 2012).

Parmi les facteurs biotiques, les nématodes pourraient constituer l'un des principaux organismes impliqués dans le dit phénomène. Cependant, de tous les dangers potentiels qui menacent les cultures, les nématodes sont souvent les moins connus et ont été en grande partie exclus de l'attention de la recherche (Reversat, 1988). Les données sur l'importance des nématodes, la composition et la densité des populations, leur caractère pathogène, en particulier la survenue des dommages causés par certaines espèces ou groupes d'espèces sont peu nombreuses (Talwana *et al.*, 2008). Pourtant, les nématodes phytoparasites ont été signalés comme de graves entraves aux productions céréalières et maraichères dans différentes régions du monde (Luc 1960, Mallamaire 1996, Bachelier 1997, Reversat 1988, Bois *et al.*, 2000 ; Bélair 2005, Talwana *et al.*, 2008).

Notre problématique est que le cycle végétatif, les paramètres édaphiques du sol et la plante hôte (Blé dur/Pois chiche) peuvent avoir une influence sur la densité de population de nématodes phytoparasites dans les racines, le sol, ainsi que les populations des nématodes à kystes du genre *Heterodera*, et sur leurs distributions horizontales et verticales dans deux sites expérimentaux de texture différente.

Il s'agit d'identifier les nématodes à kystes du genre *Heterodera*, estimer les nématodes parasites trouvés dans le sol et dans les racines avec d'autres nématodes saprophages (pantophages, bactériophage et prédateurs), et libres (fongivores et phytophages) de la culture du blé dur et du pois chiche.

Étudier l'état d'infestation de ces parasites sous différents stades végétatifs (levée, tallage, montaison, épiaison et maturation) pour la culture de blé dur, et au stade (levée et maturation) pour le pois chiche, montrer l'influence de ces stades phénologiques sur la multiplication des différentes populations de nématodes à kyste et filiformes. De manière spécifique, il s'agit de déterminer la composition et l'importance de ces espèces de nématodes sous l'influence de ces différents paramètres édaphiques et de croissance. Cette étude est une contribution à l'élaboration de modes de gestion des terres culturales qui peuvent réduire l'impact des nématodes sur les cultures céréalières et légumineuses.

V.2. Site expérimental

L'étude a été réalisée au cours des campagnes 2016-2017 et 2017-2018 dans la ferme pilote E.U.R.L de Si Achour située dans la plaine de Béni-Slimane, commune de Béni-Slimane à environ 05 Km de la commune de Bouskène et à 65 Km au Sud-Est du chef-lieu de la wilaya de Médéa (fig. 31) à une altitude moyenne de 600 m.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 420 mm avec une mauvaise répartition inter-annuelle et inter-saisonnière, la ferme est limitée :

- Au Nord-Ouest, par la route nationale N° 18 reliant Béni-Slimane-Bouskène.
- Au Nord, par le tissu urbain du chef-lieu de la commune de Béni-Slimane.
- Au Sud et à l'Est, par des terrains agricoles appartenant à des exploitations agricoles collectives (E.A.C) et exploitations individuelles E.A.I et particuliers.

Elle est insérée entre les coordonnées LAMBERT suivantes :

X= 551 600 m à 555 040 m

Y= 323 250 m à 324 800 m

La ferme présente une forme géométrique triangulaire de faible pente, les altitudes augmentent progressivement du Sud-Ouest de la ferme vers le Nord-Est.

Elle s'étale sur une superficie de 500.68 ha, et une superficie agricole utile (SAU) de 490 ha, soit 97.86% de la superficie totale. Les pistes d'exploitation agricole représentent une longueur de 18 500 m et longent généralement toute les limites parcellaires, et un réseau hydrographique de faible densité qui sillonne la partie Nord-Ouest du périmètre, la superficie irriguée est de 05 ha, en sec représente 485 ha, l'arboriculture 26 ha, les grandes cultures 464 ha dont les céréales représentent 334 ha et les fourrages 130 ha.

Le rendement moyen de blé dur atteint 21 q/ha, 14 q/ha de blé tendre et 25 q/ha d'Orge, avec des pics de rendement de 29 q/ha pour le blé dur, 25 q/ha pour le blé tendre et 36 q/ha pour l'Orge.

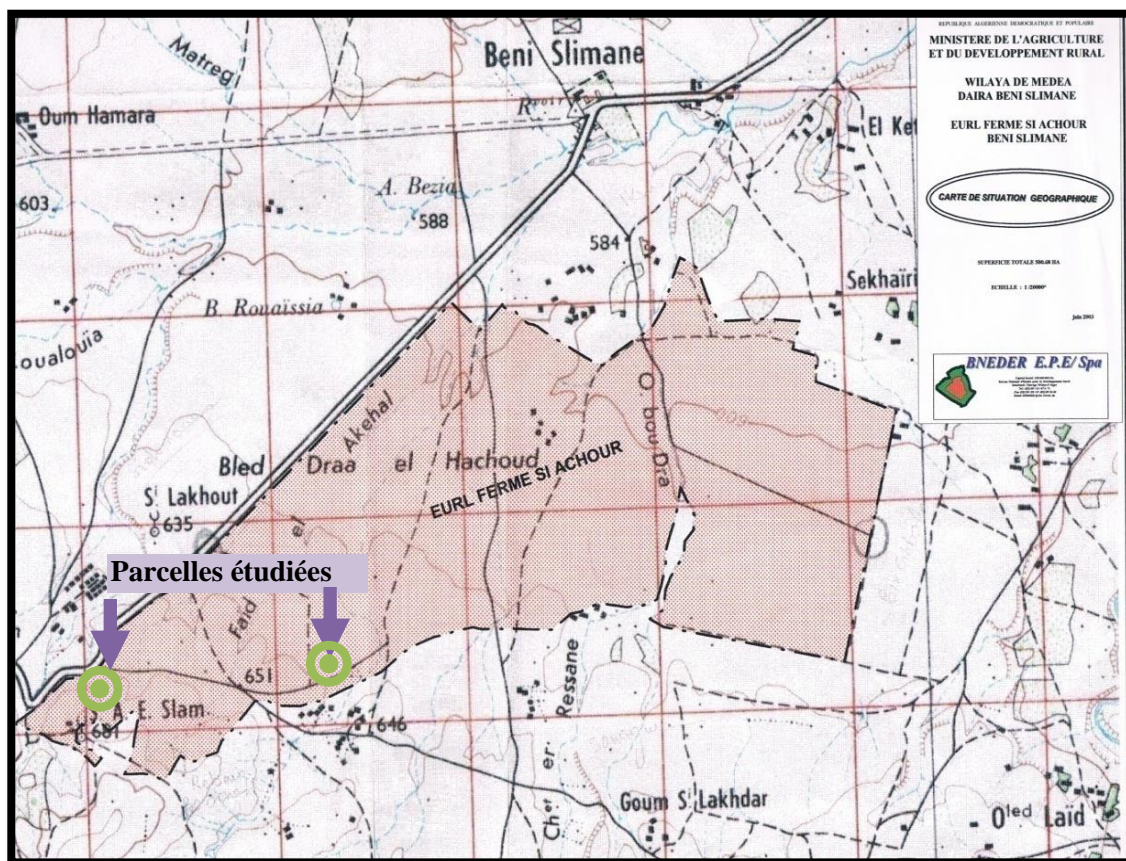


Fig. 31 - Localisation de la ferme pilote Si Achour (Echelle : 1/20 000^{ème}).

Deux essais en deux campagnes successives ont été mis en place. Pendant la première année de chaque essai, notre travail consiste à choisir deux parcelles cultivées en blé dur (*Triticum Durum*. Desf), variété Waha dans cette ferme. Nous avons délimité nos parcelles expérimentales d'une superficie de deux hectares (02 ha) pour chaque site.

Le dispositif expérimental est une randomisation totale avec 02 sites expérimentaux de textures différentes (Merrouche, 2020). Le sol du premier site a une texture argilo-limoneuse et le deuxième est argilo-calcaire. L'analyse nématologique a été faite sur 504 échantillons représentant 18 points de prélèvement appartenant à 06 répétitions durant tout le cycle de développement du blé dur (*Triticum Durum*. Desf), variété « waha », et au stade levée et maturation de la culture du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) du type « Flipp ».

V.2.1. Conditions de réalisation

V.2.1.1. Précédent cultural

Les parcelles utilisées dans notre étude expérimentale sont cultivées auparavant par différentes cultures. La succession de celles-ci (précédents culturaux) durant les quatre dernières années est mentionnée dans le tableau n° 14.

Tableau 14. Précédents culturaux des parcelles étudiées.

Années Parcelle	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
Occupation Site I	Pomme de terre	Blé dur	Fourrages	Blé dur (Waha)	Pois chiche « Flipp »
Occupation Site II	Blé tendre	Orge	Fourrages	Blé dur (Waha)	Pois chiche « Flipp »

V.2.1.2. Caractéristiques du sol

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés aux différentes corrélations susceptibles d'exister entre la densité de populations des nématodes et les paramètres édaphiques (texture, salinité, pH, matière organique, calcaire total et carbone organique) et de croissances (paramètres morphologiques et composantes de rendement).

Les sols de la plaine de Béni-Slimane se trouvent dans la voie calcimorphe. Ils sont dans la plupart des cas carbonatés sur tout le profil et l'étude pédologique de la plaine de Béni Slimane a été réalisée dans le cadre de l'étude du 1/50000^{ème} de la plaine de Béni Slimane-Aribs (Titteri) et délimitée en gras sur la figure (32). Elle montre trois classes de sols délimitées et bien distinctes :

Classe des sols peu évolués, classe des sols Calcimagnésiques et sols à Sesquioxyde de fer

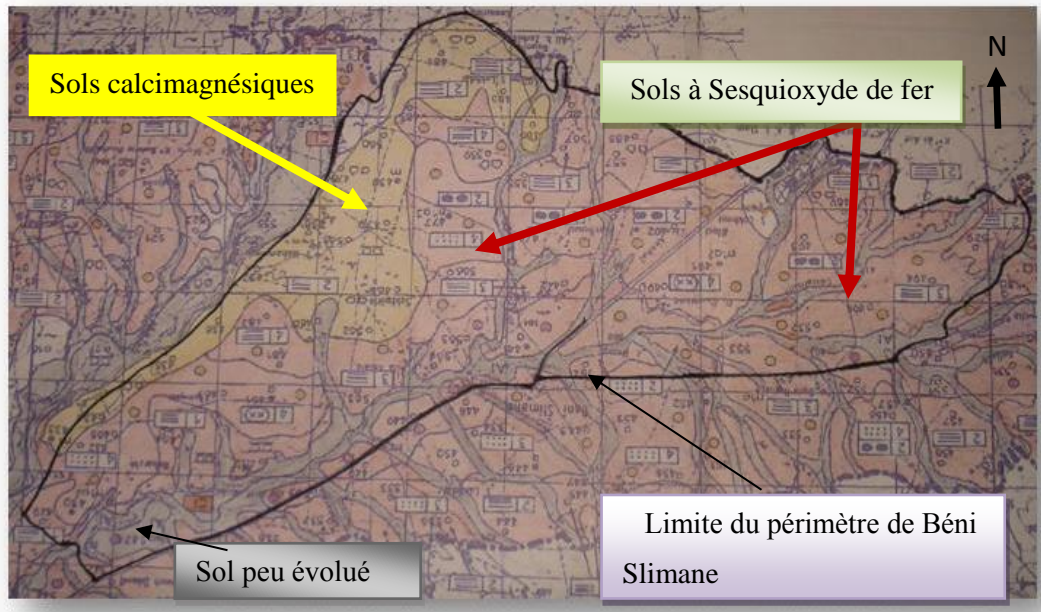


Fig. 32 - Extrait de la carte pédologique au 1/50.000^{ème} de l'étude de la plaine de Béni Slimane- Aribis (ANRH, 1976).

V.2.2. Analyse physique du sol

V.2.2.1. Granulométrie et densité apparente

Nous avons observé des variations du terrain. Deux profils pédologiques ont été réalisés dans les deux sites au stade fin tallage (Ph. 01 et 02) pour faire l'analyse granulométrique.

Les échantillons sont prélevés à des profondeurs qui dépendent beaucoup plus de la couleur des horizons.



Photo. 01. Profil pédologique (A) (original). **Photo 02.** Profil pédologique (B) (Original).



Photo. 03. - Crouste calcaire (original).

- Le profil caractéristique de ces sols (A) est du type AC. L'horizon apparaît d'une couleur brun à brun foncé. La structure est grumeleuse avec de nombreux petits cailloux calcaires et débris de croûte, suite à des remontées en surface par les labours.
- Le profil (B), sols à sesquioxyde de fer (ou de manganèse), sols rouges formés sous un climat de type méditerranéen, sols rouges à réserve calcique et le plus souvent peu lessivés, sur alluvions, profond et argileux.

Des prélèvements spécifiques sont réalisés aussi pour mesurer la densité apparente du sol et la technique utilisée est celle des cylindres de volume connu (Tessier et Steppuhn, 1990). Trois prélèvements sont réalisés sur les 15-20 premiers cm. Les sols frais sont pesés dès que possible et sont ensuite pesés après séchage à 105°C pendant 3 jours au moins.

$$\text{Densité apparente} = \frac{\text{masse solide}}{\text{volume total} - \frac{\text{humidité pondérale} \times \text{masse d'eau}}{\text{masse solide}}}$$

Ces mesures ont été réalisées en 2017 dans deux endroits dans la parcelle de blé dur.

V.2.3. Analyse physico-chimique

Pour les autres analyses réalisées dans les deux sites expérimentaux, les sols sont prélevés le 25/03/2017 par la tarière sur des profondeurs coïncidant avec la longueur des racines (0-15, 15-30 et >30cm).

On a pris 18 échantillons pour chaque site expérimental (au total 36 échantillons). L'analyse a été répétée trois fois.

Après les prélèvements, les échantillons sont séchés à l'aire libre pendant une semaine au moins (selon l'état d'humidité), puis tamisés à 2mm. Ils sont ensuite analysés au laboratoire d'analyse des sols de l'université de Khemis-Miliana. Les analyses concernent le potentiel d'hydrogène pH, la salinité (CE), le calcaire total (% CaCO₃), le carbone organique (% C) et la matière organique (% Mo).

a- Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il agit sur le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (Wu, 1989).

Le pH est déterminé selon la norme Afnor X 31-103 (Afnor, 1994) par la mesure du pH d'une suspension de sol dans l'eau à 1/5 après 20 minutes d'agitation puis décantation (24 h) à l'aide d'un pH mètre.

b- Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est mesurée sur l'extrait de sol dilué au 1/5. Elle doit être exprimée en microsiemens par centimètre (µs/cm) (Baize, 2000). Elle a été déterminée par un conductimètre.

c- Calcaire total : Méthode de calcimètre

Le calcaire total est dosé par la méthode gazométrique en utilisant le calcimètre de Bernard ; la méthode consiste à décomposer les bicarbonates du sol par l'acide chlorhydrique (6N) et à mesurer le volume de gaz carbonique (CO) dégagé.

La connaissance du calcaire total dans un sol agricole est un moyen de caractérisation du sol, de point de vue fertilité physique, chimique et même biologique et de donner une vision sur l'activité biologique du sol mais aussi d'évaluer le pouvoir fixateur du sol.

d- Carbone organique total ; Méthode de Walkley et Black

Le dosage de la matière organique est réalisé à partir du dosage de l'un de ses constituants : le carbone organique (C.O) qui est estimé à 58% de la matière organique (M.O.) d'où $\% \text{ C.O.} \times 1,724 = \% \text{ M.O.}$

La méthode de détermination du carbone organique (Alisson, 1986) est basée sur l'oxydation de ce dernier par le bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en milieu acide sulfurique (source de chaleur).

La quantité de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ utilisée excède la quantité nécessaire pour l'oxydation du C.O. L'excès de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ qui n'a pas réagi est ensuite dosé en retour par une solution titrée d'un réducteur qui est le sulfate ferreux (sel de Mohr) en présence de ferroïne (indicateur redox). Ce dosage en retour, permet donc de calculer la quantité de bichromate qui a été neutralisée par le carbone organique.

e- Matière organique

Comme la matière organique ne renferme que 58% du carbone, il faut multiplier le pourcentage de C par le facteur $100/58 = 1,724$ pour avoir le % de matière organique.

Dans notre étude, nous nous intéressons plus aux différentes corrélations pouvant exister entre les différents genres de nématodes en fonction des quelques paramètres du sol.

V.2.4. Itinéraires techniques de la campagne (2016-2017).

a)- Travail du sol

Le labour profond est effectué en été (fin juillet-début août 2016) et en automne (mois d'Octobre –Novembre) à l'aide d'une charrue à soc, sur une profondeur de 25 à 30 cm. Il est suivi par un disquage recroisé de 2 ou 3 passages (travaillant le sol sur une profondeur de 15 cm pour casser les grosses mottes et ameublir le sol).

b)- Semis

Le semis de la variété Waha de blé dur a été réalisé le 09-Décembre 2016 avec un semoir en ligne à raison de 130kg/ha. Il est suivi d'un rouleau lisse afin de créer un contact entre les agrégats et la graine de blé.

c)- Epandage d'engrais

Juste après le semis, un épandage d'engrais a été réalisé par le MAP.

d)-Engrais de couverture

Il est réalisé le 04-février 2017 avec l'Urée 46% à raison de 36 Kg/ha.

e)-Désherbage chimique

Il est effectué en deux apports. Le premier est réalisé le 15 février et le deuxième le 24 février 2017 avec le (Pallas+Li 700), coïncidant avec le stade levée de la culture. Ce traitement s'est avéré très efficace contre les maladies cryptogamiques. Les désherbages ont été effectués à l'aide d'un pulvérisateur.

f)-Observation des maladies

Un groupe de techniciens et d'ingénieurs de l'INPV de Boufarik a effectué une prospection le 10 avril 2017 en plein champs.

g)-Traitement phytosanitaire

Un traitement phytosanitaire a été réalisé le 13 avril 2017 par le Punch à raison de 60.8l/ ha. Le traitement est effectué contre la maladie de Septoriose.

h)-Irrigation

Aucune irrigation d'appoint n'a été apportée à notre culture, malgré les faibles précipitations enregistrées pendant les mois de développement du cycle végétatif de notre culture.

i)-Récolte

La récolte est effectuée manuellement pour les répétitions étudiées en tenant compte de l'humidité du grain qui est entre 12 à 14% le 05 juin 2017 et s'est étalée sur toute la journée, et a été effectuée par la moissonneuse batteuse pour la totalité de la superficie de blé dur le 15 juin 2017.

V.2.5. Itinéraire technique de la campagne (2017-2018)**Tableau 15** : Fiche parcellaire de la culture du pois chiche

Travail du sol					
Labour	Croisage	Roulage	Autre	Realisé par	
Charrues à Socs	Couver-croop	Oui		CCLS	
Engrais de Font (MAP)					
Date	Sup. engraisée	Dose/ha	Qté (q)	Nom	Realisé par
13/12/2017	7.00	1	7	MAP	La ferme

TOTAL	7.00	1	7			
Semis						
Date	Variété	superficie semée (ha)	Dose q/ha	Qte de semence	Realisé par	
02/01/2018	FILIP	7,00	1,3	10	CCLS	
TOTAL		7.00	1,3	10		
Engrais de Couverture (Urée 46%)						
Date	Sup. engraisée	Dose/ha	Qté (q)	Nom	Realisé par	
17/02/2018	7	0,5	4	Urée 46%	La Ferme	
Total	7		4			
Intervention phytosanitaire						
Date	Traitement	Produit commercial	Qté (l)	Dose/ha	Sup. Desherbée	Realisé par
03/01/2018	Herbicide	Challenge + Gesagard	20	3	7	La Ferme
TOTAL			20	3	7	
Moisson Battage (L'opération réalisé par la ferme + location 2 moissonneuses B.)						
Date	Superficie (ha)		Production grains			RDT q/ha
	Moissonnée	Sacs	q	stock		
07/07/2018	07	42	37	100	5,29	
TOTAL			37	100	5,29	

V.3. Analyse nématologique

Pour étudier l'état d'infestation des parcelles de blé dur par les nématodes phytoparasites du sol et les racines, nous avons réalisé une analyse nématologique qui comprend cinq étapes : collectes des échantillons du sol et des racines, puis l'extraction des nématodes phytoparasites à kystes, nématodes libres du sol et racines. L'estimation de la densité des nématodes (filiformes du sol, de racines et à kyste), la manipulation et la fixation des nématodes et enfin l'identification des filiformes du sol, de racines et à kystes.

L'extraction des nématodes filiformes de racine et du sol a été réalisée seulement dans la première année sur la culture de blé dur. Tandis que durant la deuxième année, l'étude englobe l'évolution de la densité de population et le taux

de multiplication des nématodes à kystes dans deux stades de développement de la culture du pois chiche (Levée et Maturation).

V.3.1. Collectes des échantillons du sol

L'échantillonnage consiste à prélever des quantités de sol dans la zone de la croissance des racines, à des profondeurs qui coïncident avec la longueur des racines aux différents stades morphologiques (Photo. 04).

IL est à noter que 504 prises élémentaires sont effectuées au niveau de chaque parcelle comme suit :

- 03 prises au niveau de la même répétition (18 prises pour chaque site expérimental) ont été rassemblées en 36 échantillons à raison de 10.8 Kg (pour chaque site, et pour chaque stade phénologique). La moitié de cette quantité du sol (05.4 kg) est conservée dans un réfrigérateur (pour garder l'humidité au parasite) destinée à l'extraction des individus filiformes et le reste d'échantillons est séché pour faire l'extraction des kystes, d'où pour chaque extraction nous avons adopté un échantillon de 300 dm³.



Photo. 04 - Prélèvement des échantillons du sol (blé dur et pois chiche) (Original).

V.3.2. Collecte des échantillons des racines

D'autre part, un deuxième prélèvement a été fait concernant le système racinaire du blé dur. Trois échantillons des racines ont été prélevés et éloignés d'un mètre l'un de l'autre. De telles distributions obligent à échantillonner un grand nombre de plants pour mesurer l'infestation d'une parcelle (Sarah et *al.*, 1996). Ces

prélèvements sont effectués à l'aide d'une petite pelle à partir de 36 points différents (Mugniery et Zaouchi, 1976) en suivant une trajectoire en zigzag dans une parcelle ne dépassant pas 2 hectares, de manière à couvrir toute la parcelle pour chaque période de croissance (de la levée jusqu'à la récolte pour la variété Waha de blé dur).

Les racines ont été collectées au même moment et au même emplacement que les échantillons de sol (Coyne *et al.*, 2010) (Ph. 05). En général, les racines sont placées avec le sol dans le même sachet afin d'assurer leur préservation.



Photo. 05 - Mode de prélèvement du sol et des racines de blé dur (original).

Les nématodes sont rarement distribués de manière régulière dans un champ, en conséquence, l'échantillonnage a été effectué à partir de plusieurs endroits du champ. Il peut être intéressant, à titre de comparaison, de collecter séparément des échantillons dans les zones de bonne et de mauvaise croissances (Coyne *et al.*, 2010).

Nous devons maintenir une procédure d'échantillonnage constante en termes de collecte et de couverture au cours de l'expérimentation pour permettre des comparaisons significatives entre la densité de population de nématodes dans les répétitions de deux sites expérimentaux, ainsi qu'en fonction de chaque stade phénologique.

Le choix du dispositif expérimental a été adapté en fonction des objectifs fixés afin d'évaluer les différentes interactions entre le sol, le parasite et la plante hôte (fig. 33).

La distribution des nématodes phytoparasites au sein de la parcelle de blé dur peuvent influencer la croissance du système racinaire ce qui influe sur la nutrition de la plante. C'est la raison pour laquelle, nous avons suivi l'évolution de la longueur du système racinaire au cours du cycle végétatif de la culture de blé dur.

Avant de faire l'extraction, les racines sont séparées du sol adhérent en les secouant légèrement par un passage sous l'eau du robinet, puis on sèche les racines avec un papier absorbant pour mesurer la longueur des racines en centimètre pour chaque stade végétatif (ph. 06).



Photo. 06 - Les racines de blé dur au stade épiaison.

Avant l'extraction des filiformes, le prélèvement de la prise de sol à analyser est précédé par une élimination des cailloux, des gros débris végétaux et une réduction des mottes. Enfin, le sol destiné à l'extraction des filiformes est pesé en état humide et celui destiné à l'extraction des kystes est pesé après le séchage.

Les racines sont rincées dans un courant modéré d'eau pendant quelques minutes pour éliminer la terre et les débris adhérents, en prenant soin de ne pas déplacer les nématodes ectoparasites se nourrissant ou fixées à la surface des racines puis, on les sèche par un papier absorbant et découpées en petits pièces. Après, on les pèse à l'aide d'une balance de précision. Nous prenons en considération 300 g par échantillon pour les deux extractions (filiformes du sol et kyste) et ½ g pour l'extraction des nématodes de racines.

V.3.3. Extractions des nématodes

V.3.3.1. Extraction des nématodes à kystes

Dans le but de séparer les kystes du genre *Heterodera* des autres matériaux, nous avons utilisé la méthode classique décrite par (Fenwick en 1940) et modifiée par Oostenbrink (1960), qui est basée essentiellement sur la densité des kystes par rapport à celle de l'eau. Les kystes pleins et humides ont une densité supérieure à 1,08 (Nakachia et Jacquemont, 1971), par contre, les kystes secs, quelque soit leur contenu, ont une densité inférieure à 1. L'opération nécessite un dessèchement préalable du sol contenant les kystes. L'impulsion du courant d'eau entraîne les éléments légers qui flottent tels que les graines de mauvaises herbes, la matière organique, des insectes microscopiques et des kystes. De la gouttière, ces derniers s'écoulent sur un tamis de 250 microns.

L'appareil de Fenwick (ph. 07) est un récipient en forme de cône tronqué, dont le fond est constitué par un plan oblique incliné vers un orifice permettant la vidange. A sa partie supérieure, il est aménagé d'une déverse qui est munie d'une gouttière périphérique, oriente l'écoulement lorsque le récipient déborde (Sosa mosse, 1966).

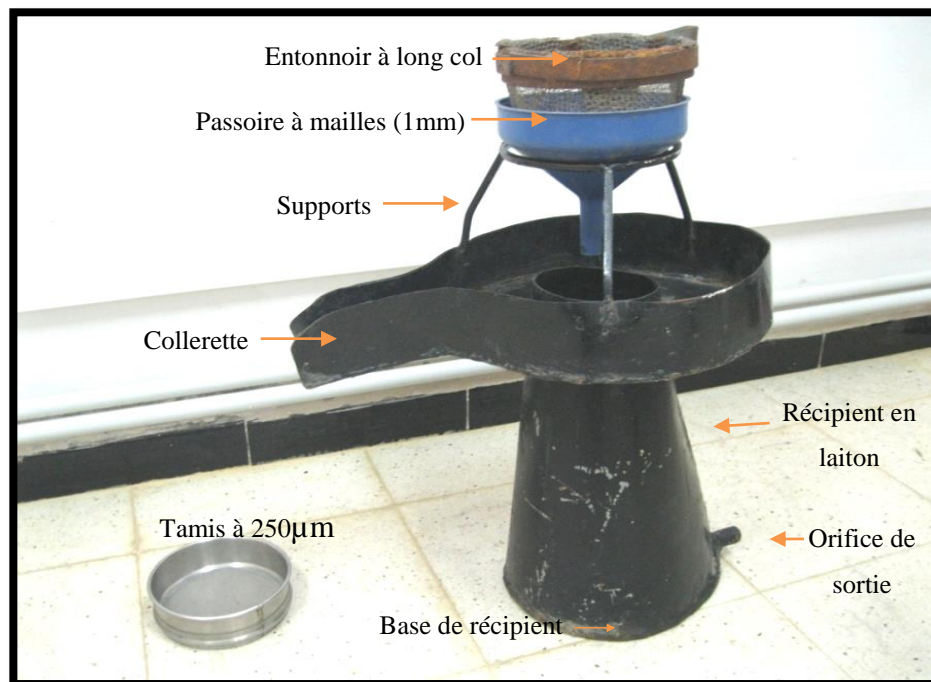


Photo. 07 - L'appareil de FENWICK.

Le contenu du tamis est nettoyé sous pression d'eau à l'aide d'un jet fin pour éliminer les particules de diamètre inférieur. Il est ensuite récupéré sur papier filtre tapissant un entonnoir porté par un Erlen-Meyer (ph. 08).

Le filtre et son contenu (kystes et la matière organique, résidus d'insectes) sont alors mis au séchage naturellement, puis nous retirons soigneusement le filtre et nous le mettons dans une boîte de pétri. L'examen se fait sous une loupe binoculaire (G 1,6 x 10) et le prélèvement des kystes se fait à l'aide d'un pinceau très fin. Les kystes prélevés sont placés dans une boîte de Pétri tapissée par un papier filtre et porte une étiquette codée indiquant le site expérimental, la répétition et le numéro d'échantillon.

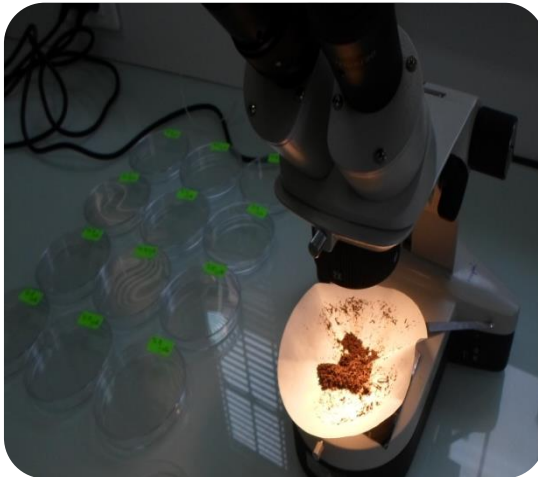
Nous avons mentionné préalablement la variété, la date d'échantillonnage, la date d'extraction et la date de prélèvement des kystes.



1. L'échantillon du sol



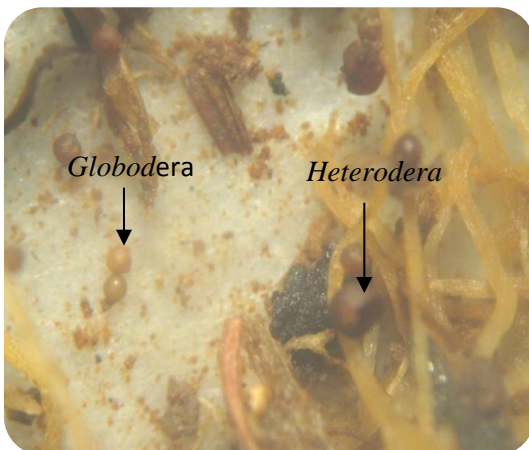
2. Mode d'extraction



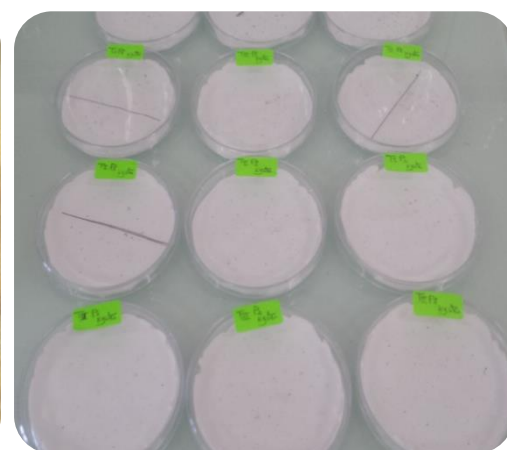
4. Papier filtre contenant les kystes avec la MO



3. Récupération de refus



5. kystes d'*Heterodera* et de *Globodera* (G 1.6*10)



6. Boites de pétri contenant les kystes pleins et kystes vides

Photo. 08 - Les étapes d'extraction des kystes d'*Heterodera* (Original).

Les kystes sont ensuite séparés en kystes vides et kystes pleins. Ils sont comptés et conservés dans des boîtes de Pétri.

Enfin, le pourcentage des kystes vides et de kystes pleins est calculé ainsi que le degré d'infestation. Ce dernier est effectué sur tous les stades de développement. Il est exprimé en nombre d'œufs ou de larves infestantes L₂ par gramme de sol (Wolfgong, 1991).

V.3.3.2. Identification et comptage des kystes

L'identification des espèces de nématodes est basée sur les caractères morphométriques et anatomiques du cône vulvaire du kyste (Handoo, 2002 ; Mulvey, 1972).

V.3.4. Extraction des nématodes filiformes du sol

Cette technique d'extraction est basée sur la méthode de Cobb (1918) (dite méthode « des seaux »).

Une fraction de sol de 300 dm³ a été prélevée par échantillon et soumise aux trois phases que comporte cette méthode d'extraction :

- I-** On mélange l'échantillon de sol avec de l'eau par un brassage énergique dans un seau A, puis laisser décanter ; les nématodes restent en suspension tandis que les particules lourdes de sol tombent au fond.
- II-** Lorsqu'on estime que la plus grande partie de la phase minérale est déposée au fond du seau A, on passe l'eau surnageant du seau A dans un seau B à travers un tamis de 2 mm qui retient les particules légères et volumineuses et laisse passer les nématodes.

Les particules lourdes restent au fond du seau. Les opérations peuvent être répétées plusieurs fois en rajoutant de l'eau au résidu du seau A.

III- On verse lentement l'eau du deuxième seau sur un tamis à maille fine de 40 µm en évitant de verser la boue fine du fond du seau, la plupart des nématodes sont retenus dans ce tamis. On récupère les nématodes dans un papier filtre placé sur un bécher à l'aide d'un jet de pissette d'eau. Lorsqu'il est bien égoutté, le contenu du papier filtre est placé dans une boîte de Pétri contenant de l'eau pour faciliter le passage actif des nématodes (ph. 09).

Les nématodes et la matière organique sont retenus par le papier filtre. Mais, le mouvement des nématodes permet la traversée de ce papier et de se retrouver dans la boîte de Pétri contenant de l'eau. C'est la dernière phase de filtration active qui sépare les nématodes des impuretés du sol sur la base de leur mobilité.

Au bout de deux jours, le filtre en cellulose et son contenu sont jetés ; la suspension est transvasée dans un tube à décanter. Deux heures après, le surnageant (eau en excès) est pompé avec une trompe à vide. Le fond du tube est versé sur une plaque de comptage quadrillée montée sur une loupe binoculaire (G 1,6 x 10) et les nématodes sont dénombrés. Deux ensembles ont été constitués : les nématodes phytoparasites qui s'attaquent uniquement aux plantes supérieures, identifiés au niveau du genre et les nématodes libres, dénombrés globalement dont une large majorité est représentée par les nématodes saprophages.

Les effectifs de la population sont exprimés en nématodes par dm^3 de sol ($\text{N} \cdot \text{dm}^3$) pour chaque stade de développement de la culture de blé dur.

- **La fréquence** : correspond au pourcentage d'échantillons dans lesquels le genre ou l'espèce a été trouvée.

- **L'abondance** : correspond au logarithme décimal ($\log N$), où N est la moyenne des effectifs des genres dans les échantillons où ils ont été trouvés (N/dm^3).



1. Préparation échantillon.



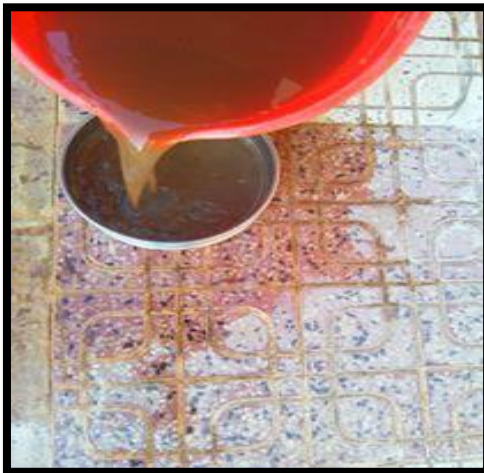
2. Agitation.



3. 1^{er} tamisage.



4. 2^{eme} tamisage.



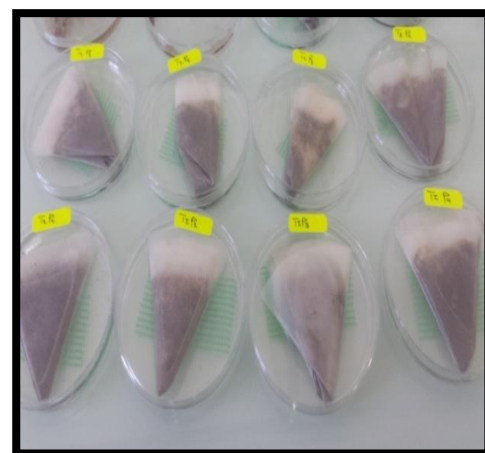
5. Récupération de nématodes filiformes.



6. Refus d'extraction.



7. Mise en papier filtre.



8. Phase de repos 24 à 48 heures.

Photos. 09 - Dispositif de Cobb (1918) en cours d'extraction (Original).

V.3.5. Extraction des nématodes filiformes de racines

Après le rinçage et la mesure de la longueur des racines, ces dernières d'après Baermann (1917), modifiée par Coyne *et al.*, 2010, sont découpées par un ciseau en petits morceaux, puis nous avons fixé le pesage sur ½ g de racines fraîches, et on les place au fond d'une boîte de pétri avec de l'eau (ph. 10).

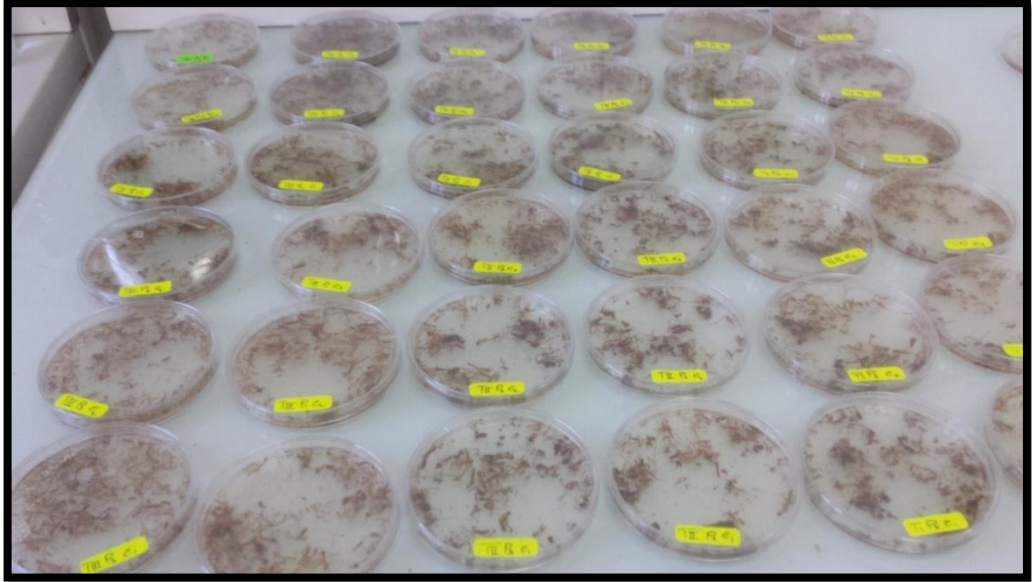


Photo. 10 - Méthode d'extraction de (Baerman, 1917) pour une observation directe à partir des racines (Original).

Pour une observation immédiate, on coupe les tissus de racine à l'aide d'aiguilles montées et de pinces pour libérer les nématodes des racines. Cette méthode convient aux nématodes endoparasites sédentaires (Coyne *et al.*, 2010).

Les nématodes endoparasites migrateurs migrent en dehors des racines vers l'eau, puis on dénombre les individus à l'aide d'une plaque de comptage sous une loupe binoculaire (G 1,6 x 10).

La sortie du parasite s'effectue après quarante-huit heures. Dans les premiers stades végétatifs (levée et tallage) le parasite peut s'observer après douze heures.

L'opération a été effectuée pour chaque stade végétatif afin de suivre l'évolution de la densité de population du nématode au cours des stades végétatifs. Donc, on a compté le nombre des nématodes filiformes qui sont trouvés dans les boîtes de pétri à partir de tous les échantillons prélevés (108 échantillons pour les deux sites et par stade végétatif).

V.3.6. Manipulation, montage et fixation des nématodes (sol et racine)

En raison de leur taille microscopique, les nématodes sont difficiles à manipuler. Il est presque toujours nécessaire de les manipuler dans l'eau par l'utilisation d'une loupe binoculaire de (G 1.6 x10).

Les nématodes ont été pêchés à l'aide d'une pêche à cil pour faciliter le montage et préparer des lames pour l'identification.

La boîte qui contient la suspension des nématodes est placée sur une loupe binoculaire au plus faible grossissement. On choisit le nématode et on le remonte doucement à la surface avec une pêche à cil. On ajuste la mise au point de la loupe de manière à garder le nématode au centre de la suspension aqueuse.

On place le porte cil en dessous du nématode, puis on le soulève hors de l'eau d'une légère pichenette (le nématode habituellement reste accroché à l'extrémité de l'instrument). On dépose la pointe du cil délicatement dans quelques gouttes d'eau dans un verre de montre.

Pour une identification précise des nématodes, nous avons pris une dizaine d'échantillons des nématodes du sol et des racines, pêchés individuellement à partir de la suspension d'extraction et disposés dans deux verres de montre (ph.11).

La technique de Hooper (1970) qui se base sur la fixation des nématodes par les solutions consiste à bien mélanger la solution préparée par le Formaldéhyde, acide acétique et l'eau distillée puis l'a chauffée à 90° jusqu'au début d'ébullition. Ensuite, elle est versée sur l'échantillon préparé dans le verre de montre qui, par la suite, est recouvert par un papier aluminium pour empêcher l'évaporation de cette solution.

Ensuite, on laisse cette préparation au moins 2 jours, puis, on met les verres de montre qui contiennent les nématodes dans une chambre à alcool (dessiccateur) (ph. 11) qui contient de l'alcool pur (100 %) dans une étuve de 45 à 50°C pour les laisser s'imprégner d'alcool pendant une nuit (12h).



Photo. 11 - Chambre à alcool avec les solutions utilisées.

Quand la première solution est à moitié évaporée, on ajoute une goutte d'une solution qui contient de l'Ethanol 96%, Glycérol et l'eau distillée, et on les laisse pendant 24h.

Ensuite, on enlève les verres de montre (contenant les nématodes) de la chambre à alcool, on les met directement dans l'étuve et on rajoute avec une pipette une à deux gouttes d'une solution qui contient 95% d'Ethanol (96%) et 5% de glycérol chaque 1/2heure ou une heure au moins 4 fois (on doit vérifier l'échantillon pour qu'ils ne se dessèchent pas (Il ne faut pas trop remplir les verres de montre).

On rabaisse la température à 40°C et on laisse l'eau et l'alcool s'évaporer jusqu'à ce qu'il ne reste dans les verres que les nématodes dans la goutte de glycérol.

Dans la dernière étape relative à la préparation des lames, on met un cercle de paraffine sur une lame. A l'intérieur de ce cercle, on met une goutte de glycérine. Puis, les nématodes (déjà fixés avec la méthode décrite précédemment) sont déposés sur la glycérine à l'aide d'un cil monté sur une aiguille en acier, et on couvre le cercle de paraffine qui contient le nématode avec une lamelle, puis on met la lame sur une plaque chauffante (50 °c) jusqu'à ce que la paraffine fonde et se répartit autour de la glycérine pour maintenir lame et lamelle et on les conserve dans une boîte de lamelle.

V.3.6.1. L'identification des nématodes (sol et racine).

L'observation des nématodes se fait au microscope optique (G1.6x10) afin de différencier entre les nématodes phytophages et les non phytophages par la présence de stylet buccal.

L'identification des nématodes à kystes, filiformes du sol et des racines du blé dur a été confirmée par **ALBERTO Troccoli**, nématologiste au CNR, Nématologie de Bari, Italie.

V.4. Les paramètres de croissance de la variété Waha de blé dur et Flipp du pois chiche

Nous avons réalisé des mensurations et des comptages qui nous ont permis de suivre la variété et leurs caractères. Le suivi de l'essai a duré six mois pour les cultures de blé dur et du pois chiche, durant lesquels, les paramètres de croissance sont pris en considération :

V.4.1. Caractères morphologiques de la variété Waha

✚ **Longueur de la racine** : La mesure de la longueur de racine se fait pour chaque stade végétatif (levée jusqu'à la maturation) à l'aide d'un pied à coulisse (la longueur moyenne de trois échantillons de racines de chaque répétition).

✚ **Hauteur de la tige** : cette opération a été réalisée le 18 mai 2017 sur le champ en prenant quinze plants par répétition et on les mesure en centimètre de la surface du sol jusqu'à l'extrémité de l'épi.

✚ **Longueur de l'épi** : cette opération a été effectuée le 20 mai 2017 au champ de blé, au stade pâteux avec une mesure en centimètre de la base de premier épillet jusqu'à l'extrémité de dernier épillet. On a pris 15 plants choisis au hasard de chaque répétition.

✚ **Longueur du col de l'épi** : la mesure a été effectuée le 27 mai 2017 en centimètre de dernier nœud jusqu'à la base de l'épi, le choix est effectué sur 15 plants de chaque répétition.

✚ **Nombre de plants levés/m²** : le comptage a été effectué au champ, au stade 03 feuilles le 08 et le 09/02/2017, à l'aide d'un mètre carré, le comptage s'effectue sur les 12 répétitions à raison de 03 fois pour chaque répétition.

V.4.2. Composantes du rendement du blé dur

✚ **Nombre de talles/m²** : cette opération a été réalisée le 06 /03/2017 sur le champ au stade fin tallage.

✚ **Nombre d'épi/m²** : le comptage a été réalisé le 08/05/2017 sur le champ au stade épiaison à l'aide d'un mètre carré avec 03 répétitions pour chaque point.

✚ **Nombre de grains/épi** : avant la maturité complète du grain de deux semaines, on a fait le comptage le 02 et le 03 juin 2017 sur le champ de blé, le choix est effectué sur 15 plants pris au hasard pour chaque répétition.

✚ **Poids de mille grains (PMG)** :

C'est une des composantes du rendement agronomique et du rendement semoulier. Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur. C'est un critère essentiellement variétal qui dépend beaucoup des conditions de culture qui l'influencent de façon significative (Ait-Kaki, 2008).

Le comptage de PMG a été réalisé manuellement pour la totalité des points de prélèvement au laboratoire, puis le pesage par une balance de précision le 20/06/2017. On prend un échantillon de 1000 grains à partir de chaque sac.

Le rendement calculé : il a été estimé à partir de la formule suivante :

$\text{Rendement en qx/ha} = \text{Nombre de grain/épi} \times \text{Nombre d'épis/m}^2 \times \text{PMG} / 10^3$

V.4.3. Caractères morphologiques de la variété « Flipp » du pois chiche

✚ **Longueur de la racine** : la mesure de la longueur de racine chez le pois chiche se fait pour deux stades végétatifs (levée et maturation) à l'aide d'une règle graduée.

✚ **Hauteur de la tige** : cette opération a été réalisée le 17 juin 2018 sur le champ en prenant quinze plants par répétition et on les mesure en centimètre de la surface du sol jusqu'à l'extrémité de la plante.

✚ **Nombre de plants/m²** : le comptage a été effectué au champ le 02 et le 03/04/2018, à l'aide d'un mètre carré, le comptage s'effectue sur les 12 répétitions à raison de 03 fois pour chaque répétition.

V.4.4. Composantes du rendement du pois chiche

✚ **Nombre de talles/m²** : cette opération a été réalisée le 19 /06/2018 sur le champ au stade Maturation.

✚ **Nombre de grains/plant** : le comptage a été réalisé le 19/06/2018 sur le champ au stade maturation avec 03 répétitions pour chaque point.

✚ **Rendement** : A maturité du pois chiche, une récolte machine a été réalisée par une moissonneuse batteuse afin de déterminer le rendement en grains. L'opération est faite le 07 juillet 2018.

V.4.5. Caractéristiques des populations de nématodes à kystes

L'étude de l'évolution de la densité de population de nématodes au cours des stades végétatifs concerne le dénombrement des populations du genre *Heterodera*, sp.

L'opération consiste à mettre un kyste plein dans une goutte d'eau et sur une lame, puis il est écrasé à l'aide d'un scalpel, ensuite sous une loupe binoculaire, on compte les œufs à l'aide d'une épingle (ph. 12).

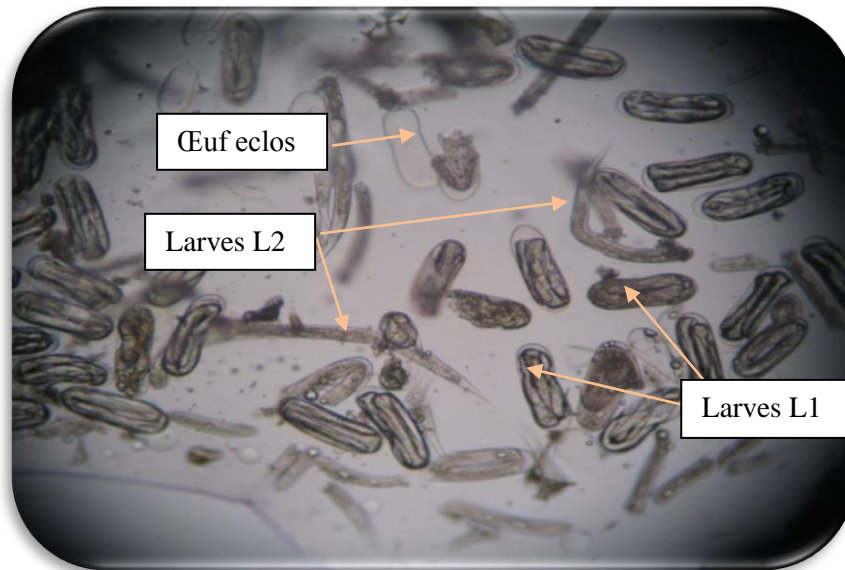


Photo. 12. Technique de comptage des œufs et des larves d'*H. avenae* (G 10x40). (Original).

V.5. Méthodes d'exploitation des résultats

Trois groupes de variables ont été pris en considération dans notre étude : il s'agit des variables considérées sur la plante hôte (les paramètres de croissance du blé et ceux liés à la culture de rotation), des variables liées aux parasites (l'état d'infestation) et des variables liées aux paramètres édaphiques afin de rechercher le lien entre les trois.

Le deuxième aspect de l'analyse porte sur l'étude des caractéristiques des populations des nématodes *Heterodera* spp. La variable prise en considération est le nombre d'œufs/kyste pour chaque stade végétatif.

Des analyses statistiques simples se sont montrées suffisantes dans une grande partie des cas pris en considération : la comparaison des moyennes par des analyses de variance et des analyses multi variées, régressions simples se sont avérées nécessaires.

V.5.1. Analyse de la variance (ANOVA)

Le but recherché de cette méthode d'analyse est de comparer la signification entre les moyennes. Des analyses à un facteur ont été effectuées pour tester des facteurs contrôlés ayant des modalités sur les moyennes d'une variable quantitative. Toutes les analyses de variance ont été effectuées avec le logiciel Statistix.

V.5.2. Régression et matrice de corrélation

L'analyse des régressions est l'une des méthodes statistiques les plus utilisées dans plusieurs domaines. Son objectif est double, il consiste tout d'abord à décrire les relations entre une variable privilégiée, appelée variable expliquée (ou dépendante), et plusieurs variables jouant un même rôle par rapport à la première, appelées variables explicatives (ou indépendantes). Elle permet aussi d'effectuer des prévisions de la variable expliquée en fonction des variables explicatives. L'analyse des régressions et les corrélations nous a permis de déduire des équations des calculs de variable expliquée et d'établir la relation entre la variable expliquée et la variable explicative. Le coefficient de détermination R^2 calculé, représentant la mesure de la proportion de la variable explicative par la variable à expliquer, évalue le degré d'association entre les deux variables et permet de juger la qualité de l'ajustement des points par la droite de régression. Les probabilités sont calculées pour chaque cas pour évaluer les degrés de signification. Un nuage de poids est produit par ces deux variables.

Chapitre VI

Résultats et discussion

VI.1. Introduction

Parmi les nématodes, de nombreuses espèces sont parasites. Leur action parasitaire se manifeste par la présence de cellules nécrosées sur les racines qu'ils attaquent (Dropkin 1969, Mateille 1994). Ces tissus nécrosés provoquent un dysfonctionnement du système racinaire qui se traduit par une réduction de sa capacité d'assimilation des éléments nutritifs et de l'eau et donc un mauvais développement de la plante (Cadet, 1990).

L'analyse nématologique est basée sur des échantillons de sol permettant de :
Détecter et identifier les facteurs explicatifs de la présence des nématodes phytoparasites durant deux années successives par la pratique de la rotation (blé dur/Pois chiche.

De même, il est nécessaire d'évaluer les degrés d'infestation des sites étudiés par ces genres de nématodes phytoparasites et avoir une idée sur la distribution de ces derniers au sein de la même parcelle en fonction des stades végétatifs.

La recherche de l'influence des conditions édaphiques sur le développement et la répartition de la population du nématode revêt un intérêt particulier,

Etudier la relation entre le rendement et la densité de populations du nématode dans le sol.

Concevoir un modèle qui permettra à l'agriculteur de mieux gérer ces parasites dans le temps et l'espace.

VI.2. Campagne 2016-2017 (1^{ère} année)

VI.2.1. Analyses du sol

Les résultats d'analyse des échantillons du sol permettent de déterminer le type du sol ainsi que la façon de distribution des nématodes phytoparasites et saprophages dans les deux sites et au sein de la parcelle de blé dur.

VI.2.1.1. Analyse physique du sol

Profil (A)

Les prélèvements des échantillons de sol sont effectués le 20/03/2017. Dans le premier profil, les prélèvements ont concernés trois horizons décrits ci-dessous :

Horizon (0-40 cm) : Couleur : brun rouge, texture : Argilo limoneuse, structure grumeleuse, porosité : très bonne, bon enracinement, activité biologique : assez bonne : peu dure, cohésion : assez forte.

Horizon (40-100 cm) : graviers et cailloux roulés (Φ 40 cm).

Horizon >100cm : Couleur : brun rouge, frais- texture argileuse à très argileuse, porosité : faible, activité biologique assez bonne, consistance : dure, cohésion forte- cailloux roulés.

Les résultats de l'analyse granulométrique du sol et la densité apparente sont consignés dans le tableau n° 16.

Tableau 16. Granulométrie et densité apparente du profil (A).

Horizon	Granulométrie					Densité apparente
	%					
	A	Lf	Lg	Sf	Sg	1 à 1.2
0-40	37	23,6	18	18,9	2,6	
40-100	Graviers + cailloux roulés					
>100	72	23	10	8	2,9	

La projection des différentes fractions du sol sur le triangle texturale nous montre que le premier horizon a une texture Argilo-limoneuse ($A= 37\%$ et $Lf + Lg= 41,6 \%$) en surface tandis que le deuxième horizon a une texture Argileuse (taux de 72% d'argile).

Profil (B)

Nous avons aussi distingué deux horizons principaux décrits ci-dessous :

Horizon (0-50 cm) : Horizon de labour : couleur : brun rouge, frais, texture argileuse, structure : grumeleuse, porosité : très bonne, bon enracinement, activité biologique : assez bonne, consistance dure, cohésion : forte.

Horizon (50-100 cm) : brun rouge, texture argileuse, structure polyédrique fine à moyenne, porosité : très bonne, faces : lisses, activité biologique : faible, consistance dure, cohésion forte, limite inférieure : nette.

Les résultats de l'analyse granulométrique du sol et la densité apparente sont consignés dans le tableau n° 17.

Tableau 17. Granulométrie et densité apparente du profil (B).

Horizon	Granulométrie					Densité apparente
	%					
	A	Lf	Lg	Sf	Sg	≈ 1.2
0 -50	62	8,7	13,3	14	1,6	
50-100	77	4,7	10,9	6,5	0,6	

Les résultats analytiques du profil (B) portés dans le tableau ci-dessus, montrent que la texture est argileuse avec un taux d'argile qui varie entre 62% pour le premier horizon et 77% pour le deuxième horizon.

VI.2.1.2. Analyses physico-chimiques

En ce qui concerne les autres analyses du sol (pH, calcaire total (%CaCO₃), carbone organique (%C), matière organique et salinité du sol), les prélèvements sont effectués pour les douze répétitions de la parcelle sur trois profondeurs (0-15, 15-30 et >30cm), trois répétitions pour chaque analyse et profondeur (c'est-à-dire 108 répétitions pour chaque analyse).

Les résultats d'analyse physico-chimiques sont représentés dans le tableau 18.

Tableau 18. Résultats d'analyse physico-chimique du sol.

Site	Répétition	Profondeur (cm)	Calcaire total (%CaCO ₃)	C.E (µs/cm)	Carbone organique (%CO)	Matière organique (%MO)	pH
Site I	R1	0-15	2,60	357,20	0,70	1,23	7,92
		15-30	2,80	362,52	0,71	1,21	7,94
		>30	2,80	368,31	0,54	0,94	7,94
	R2	0-15	2,40	413,82	0,95	1,65	8,08
		15-30	2,40	405,03	0,91	1,58	8,09
		>30	2,40	402,73	0,72	1,24	8,09
	R3	0-15	1,30	222,81	0,57	0,98	7,83
		15-30	1,20	228,23	0,53	0,91	7,83
		>30	1,20	231,09	0,41	0,70	7,85
	R4	0-15	2,40	333,07	0,74	1,28	7,87
		15-30	2,20	339,75	0,61	1,50	7,88
		>30	2,20	342,86	0,52	0,90	7,91
	R5	0-15	1,80	362,50	1,04	1,80	7,82
		15-30	2,10	366,09	0,88	1,52	7,84
		>30	2,40	368,31	0,79	1,36	7,84
	R6	0-15	1,30	406,10	1,08	1,87	8,05
		15-30	1,20	411,35	0,94	1,63	8,05
		>30	1,20	412,67	0,73	1,26	8,07
Site II	R1	0-15	17,20	416,09	0,27	0,46	8,10
		15-30	17,60	422,33	0,23	0,39	8,10
		>30	18,31	431,28	0,18	0,30	8,12
	R2	0-15	24,13	418,92	0,25	0,43	8,15
		15-30	24,95	421,24	0,22	0,37	8,16
		>30	26,26	427,55	0,15	0,25	8,15
	R3	0-15	19,26	536,20	0,37	0,65	8,02
		15-30	19,61	541,98	0,27	0,46	8,02
		>30	24,30	562,31	0,21	0,36	8,06
	R4	0-15	22,81	516,12	0,18	0,30	8,13
		15-30	23,06	523,46	0,16	0,27	8,13
		>30	24,36	528,17	0,13	0,22	8,13
	R5	0-15	14,50	518,07	0,10	0,18	8,09
		15-30	16,38	523,61	0,10	0,18	8,09
		>30	18,61	536,30	0,08	0,15	8,10
	R6	0-15	22,60	520,33	0,37	0,45	8,12
		15-30	22,85	520,63	0,29	0,41	8,10
		>30	23,07	526,38	0,19	0,34	8,13

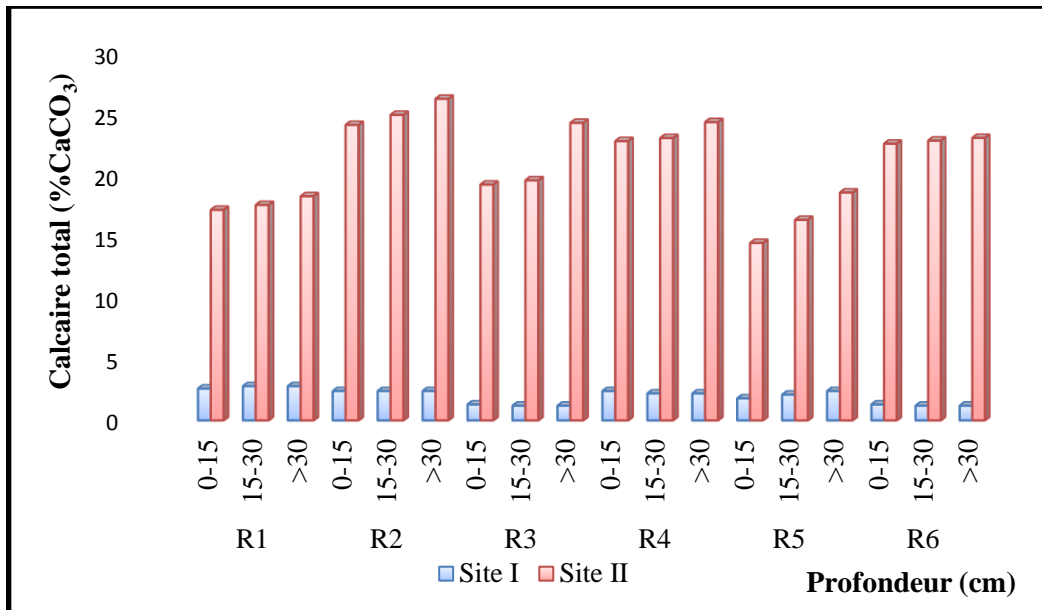


Fig. 34 - Taux de calcaire total trouvé dans les deux sites de la campagne (2016-2017).

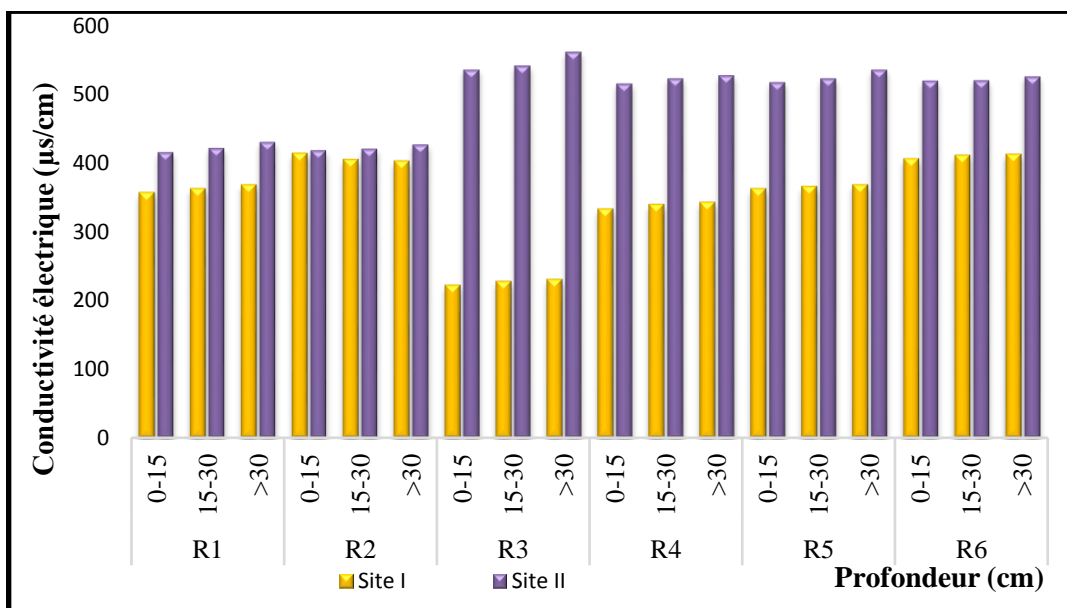


Fig. 35 - Conductivité électrique des deux sites (2016-2017).

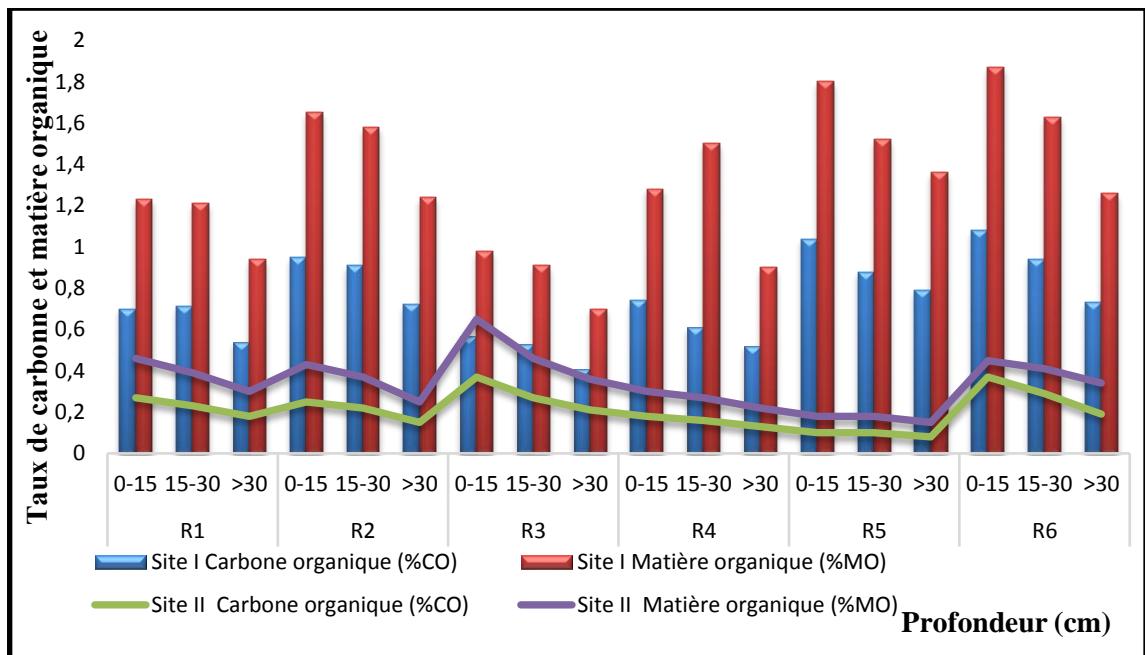


Fig. 36 - Taux de carbone et de matière organique.

Nous avons trouvé des grandes variations surtout au niveau du taux de calcaire et matière organique qui varient d'un endroit à l'autre ;

Dans le premier site :

- Le taux de calcaire total est faible (inférieure à 2.6%).
- La conductivité est insignifiante (inférieure à 412 μ s/cm).
- Le pH est compris entre 7.82 et 8.09 (légèrement alcalin).
- Le sol est moyennement riche en matière organique, avec un taux varié entre 0.70% et 1.87%.

Dans le deuxième site :

- Le taux de calcaire total est élevé (> 24 %).
- La conductivité est insignifiante (inférieure à 540 μ s/cm).
- Le pH est compris entre 8.02 et 8.13 (légèrement alcalin).
- Le taux de matière organique est faible (inférieure à 0.45 %).

VI.2.2. Analyse nématologique

VI.2.2.1. Densité de populations des nématodes à kystes et nématodes filiformes

Les résultats d'analyse nématologique des échantillons des racines et du sol prélevés durant la première année de notre étude de la variété de blé dur (Waha) au cours des cinq stades végétatifs sont abouti dans les tableaux 19 et 20.

Tableau 19. Nombre moyen de nématodes à kystes et nématodes filiformes trouvés tout au long du cycle végétatif de la variété Waha de blé dur dans le site I.

Stade	Répétition	Moy de la Longueur des racines (cm)	Moy du poids d'échantillon (g)		Moy du nombre d'individus		Moy K.TH	Moy K.VH	Moy K.PH	% K.V	% K.P	Degré Moy d'infestation (L ₂ /g de sol)	
			Racine	Sol	Racine	Sol						Kyste	Sol
Levée	R1	08,63	½	300	24,33	465	04	04	00	100	00	00	1,55
Tallage		16,26	½	300	35,00	492	15	14	01	93,33	6,66	0,89	2,30
Montaison		15,34	½	300	103,00	886	23	21	02	9130	8,69	1,54	2,95
Epiaison		20,33	½	300	25,66	1164	26	22	04	84,61	15,38	2,34	3,88
Maturation		22,13	½	300	06,66	1648	61	55	06	90,16	09,83	4,62	5,49
Levée	R2	06,45	½	300	32,00	787	08	08	00	100	00	00	2,62
Tallage		14,90	½	300	40,33	652	17	16	01	94,11	05,88	0,22	2,17
Montaison		17,76	½	300	68,00	1220	41	37	04	90,24	09,75	4,01	4,06
Epiaison		18,93	½	300	33,33	1591	35	30	05	85,71	14,28	4,37	5,30
Maturation		19,50	½	300	08,00	1820	38	30	08	78,94	21,05	7,43	6,06
Levée	R3	09,37	½	300	34,00	736,66	09	08	01	88,88	11,11	1,41	2,45
Tallage		15,06	½	300	32,00	967	05	05	00	100	00	00	3,22
Montaison		16,96	½	300	37,66	936	14	13	01	92,85	7,14	0,78	3,12
Epiaison		20,26	½	300	28,66	1408	17	15	02	88,23	11,76	1,13	4,69
Maturation		22,00	½	300	12,33	1762	20	16	04	80,00	20,00	3,33	5,87

Levée	R4	09,12	½	300	35,33	793	06	06	00	100	00	00	2,64
Tallage		12,30	½	300	32,66	1011	11	10	01	90,90	09,09	1,05	3,37
Montaison		14,56	½	300	88,33	1536	10	10	00	100	00	00	5,12
Epiaison		17,36	½	300	25,66	1546	13	12	01	92,30	07,69	1,00	5,15
Maturation		19,70	½	300	10,00	1595	22	13	09	59,09	40,90	4,61	5,31
Levée	R5	07,06	½	300	35,00	891	09	09	00	100	00	00	2,97
Tallage		16,96	½	300	44,33	495	09	09	00	100	00	00	1,65
Montaison		16,56	½	300	63,00	761	19	17	02	89,47	10,52	0,19	2,53
Epiaison		17,40	½	300	22,00	1378	23	20	03	86,95	13,04	2,38	4,59
Maturation		18,20	½	300	04,00	1667	20	16	04	80,00	20,00	2,96	5,55
Levée	R6	08,71	½	300	24,00	576	15	13	02	86,66	13,33	1,06	1,92
Tallage		14,80	½	300	47,00	775	12	11	01	91,66	08,33	0,20	2,58
Montaison		17,80	½	300	62,33	1268	18	15	03	83,33	16,66	1,54	4,22
Epiaison		18,93	½	300	27,66	1588	29	23	06	79,31	20,68	6,22	5,30
Maturation		20,30	½	300	15,66	1817	37	25	12	67,56	32,43	11,78	6,05
Total			15g	09kg	1058	34 232	586	503	83	88.86	11.14	65.06	114.86

Tableau 20. Nombre moyen de nématodes à kystes et nématodes filiformes trouvés tout au long du cycle végétatif de la variété Waha de blé dans le site II.

Stade	Répétition	Moy de la Longueur des racines (cm)	Moy du poids d'échantillon (g)		Moy du nombre d'individus		Moy K.TH	Moy K.VH	Moy K.PH	% K.V	% K.P	Moy du degré d'infestation (L ₂ /g de sol)	
			Racine	Sol	Racine	Sol						Kyste	Sol
Levée	R1	8,52	½	300	26,00	654	08	07	01	87,50	12,50	0,54	02,18
Tallage		14,5	½	300	45,00	885	13	12	01	92,30	07,69	0,83	02,95
Montaison		18,03	½	300	55,33	1058	18	16	02	88,88	11,11	0,57	03,52
Epiaison		21,16	½	300	18,33	1431	26	19	07	73,07	26,92	6,47	04,77
Maturation		25,66	½	300	07,33	1757	33	24	09	72,72	27,27	7,04	05,85
Levée	R2	7,03	½	300	28,00	507	11	10	01	90,90	09,09	0,30	01,69
Tallage		13,86	½	300	52,33	748	12	10	02	83,33	16,66	0,70	02,49
Montaison		16,83	½	300	58,00	995	15	14	01	93,33	06,66	1,07	03,31
Epiaison		19,53	½	300	22,33	1314	21	17	04	80,95	19,04	3,26	04,38
Maturation		22,43	½	300	21,66	1960	36	25	11	69,44	30,55	10,02	6,53
Levée	R3	8,32	½	300	35,00	566	13	11	02	84,61	15,38	0,65	01,88
Tallage		14,59	½	300	38,33	789	27	24	03	88,88	11,11	2,04	02,63
Montaison		15,83	½	300	50,00	1326	28	25	03	89,28	10,71	1,66	04,42
Epiaison		17,21	½	300	28,33	1148	37	33	04	89,18	10,81	2,78	03,82
Maturation		22,2	½	300	18,00	1529	32	26	06	81,25	18,75	4,15	05,09

Levée	R4	6,22	½	300	26,00	510,3	12	11	01	91,66	08,33	0,20	01,70
Tallage		12,1	½	300	62,00	735	06	05	01	83,33	16,66	0,65	02,45
Montaison		15,13	½	300	42,00	1217	07	07	00	100	00	00	04,05
Epiaison		19,51	½	300	25,33	1305	15	12	03	80,00	20,00	1,52	04,35
Maturation		21,33	½	300	25,66	1280	25	22	03	88,00	12,00	3,54	04,26
Levée	R5	21,7	½	300	08,33	532	26	26	00	100	00	00	04,78
Tallage		7,3	½	300	36,66	1434	08	08	00	100	00	00	01,77
Montaison		15,06	½	300	66,66	758	10	09	01	80,76	19,23	0,57	02,52
Epiaison		18,9	½	300	32,33	1283	08	07	01	87,50	12,50	2,69	04,27
Maturation		24,06	½	300	07,66	1521	28	25	03	89,28	10,71	2,78	05,07
Levée	R6	7,41	½	300	38,00	472,66	07	07	00	100	00	00	01,57
Tallage		14,63	½	300	57,33	655	05	05	00	100	00	00	02,18
Montaison		16,26	½	300	42,66	1008	14	12	02	85,71	14,28	2,03	03,36
Epiaison		19,73	½	300	33,33	1296	15	11	04	73,33	26,66	3,20	04,32
Maturation		22,53	½	300	06,33	1478	23	19	04	82,60	17,39	2,33	04,92
Total			15g	09 kg	1014.3	32 152	539	459	80	86.92	13.06	60.52	107.08

Ces fluctuations des niveaux d'infestation sont le résultat de l'interaction de nombreux facteurs tel que le climat, le système de rotation, les variétés cultivées, le type du sol et l'emploi des produits chimiques (pesticides, engrais...) qui affectent les populations du complexe *Heterodera avenae*.

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

VI.2.2.2. Importance du nombre de kystes trouvés chez la variété Waha de blé dur

D'après l'analyse nématologique relative à la recherche de kystes, nous avons mis en évidence deux types des kystes, ceux dont la forme est ronde qui représentent les *Globodera* et les kystes citrifformes qui appartiennent à *Heterodera*.

➤ **Au stade Levée** : les kystes vides d'*Heterodera* sont abondants par rapport à ceux qui sont pleins. Ils varient de 04 à 26 kystes/300g de sol respectivement pour la R1 du premier site et la R5 du deuxième site où la moyenne du nombre total des kystes vides dans la totalité de la parcelle et au stade levée est de 48 kystes/1.8kg dans le SI et 72 kystes/1.8kg dans le SII, contre seulement 03 kystes pleins/1.8kg dans le SI et 05 kystes pleins dans le SII. Ainsi, quelques points prospectés sont indemnes de ce parasite (absence des kystes pleins dans les échantillons prélevés).

➤ **Au stade Tallage** : cette phase est caractérisée par une augmentation des kystes totaux qui varient entre 05 kystes/300g de sol trouvés chez la R3 du premier site et R6 du deuxième site, et 27 kystes/300g du sol sec dans la R3 du SII. Nous avons remarqué que la moyenne du nombre de kystes pleins est toujours inférieure au nombre de kystes vides. Elle varie d'un kyste/300g de sol (dans la R1, R2, R4 et R6 du SI, la R1, R4 et la R5 du SII) à 03 kystes pleins/300g de sol (dans R3 du SII).

➤ **Au stade Montaison** : à ce stade, il y a une certaine variation dans la distribution de la densité de nématodes entre les répétitions où nous avons trouvé que la R2 du SI porte le plus grand nombre de kystes (41 kystes/300g de sol sec), et la R4 du SII a enregistré la plus faible densité de kystes (07 kystes/300g de sol). Ces résultats ont augmenté la moyenne du nombre de kystes pleins à 04 kystes/300g de sol sec dans la R2 du premier site.

Le nombre total des kystes dans la parcelle au stade montaison est de 113 kystes/1.8 kg de sol au S I et 92 kystes/1.8 kg de sol au SII, avec 101 kystes vides au SI et 12 kystes pleins au S II.

➤ **Au stade Epiaison** : le stade épiaison est une phase de transition vers la maturation qui se caractérise par la migration des réserves (eau et substances nutritives) aux grains de l'épis. L'infestation racinaire a un grand effet sur la formation du rendement. Durant cette phase, nous avons enregistré une augmentation de la moyenne du nombre de kystes pleins au niveau de la parcelle de blé dur qui atteint 44 kystes pleins/09 kg de sol. Ce dernier est enregistré chez la R1 du deuxième site avec 07 kystes/300g de sol sec, et le plus faible nombre de kyste pleins est enregistré au niveau de la R4 du premier site et R5 du deuxième site (kyste/300g de sol sec).

La moyenne du nombre total des kystes pour la totalité de la parcelle de blé dur est variable, allant de 143 kystes au SI à 122 kystes/1.8 kg de sol au SII, avec 21 kystes pleins dans le SI et 23 Kystes dans le SII.

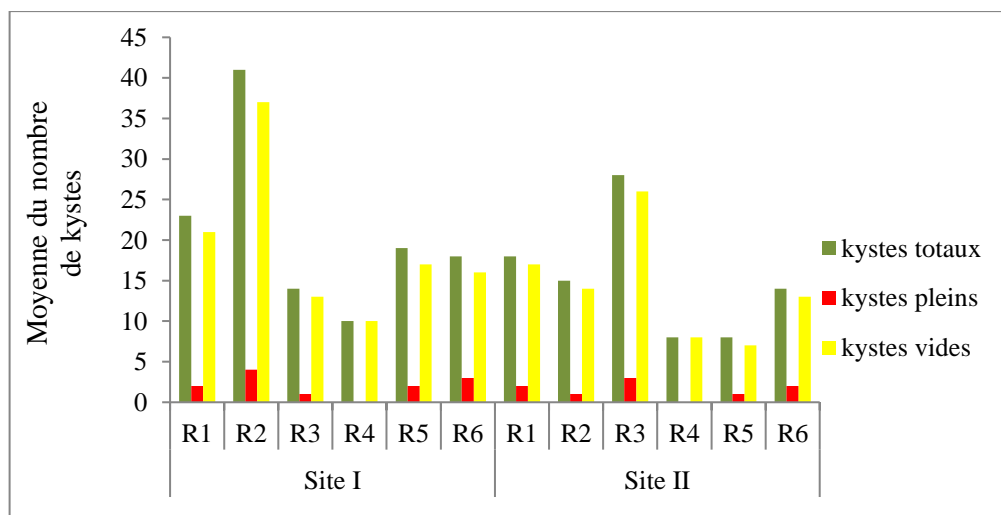
➤ **Au stade Maturation** : l'analyse des échantillons au stade maturation révèle que la R1 du premier site présente une augmentation progressive dans la densité moyenne des kystes vides qui est de l'ordre de 55 kystes/300g de sol. Mais une faible densité est estimée dans R4 du premier site (13 kystes/300g de sol). Pour les kystes pleins, le plus grand nombre est trouvé dans R6 du SI avec 12 kystes/300g de sol et un degré d'infestation de 11.78 et R2 du SII avec 10.02. Concernant la moyenne totale de kystes, nous avons enregistré un nombre important dans le premier site avec 198 kystes/1.8kg de sol et 177 kystes au SII. Où le nombre moyen des kystes pleins atteint les 43 kystes dans le SI et 36 kystes/1.8kg de sol sec dans le SII.



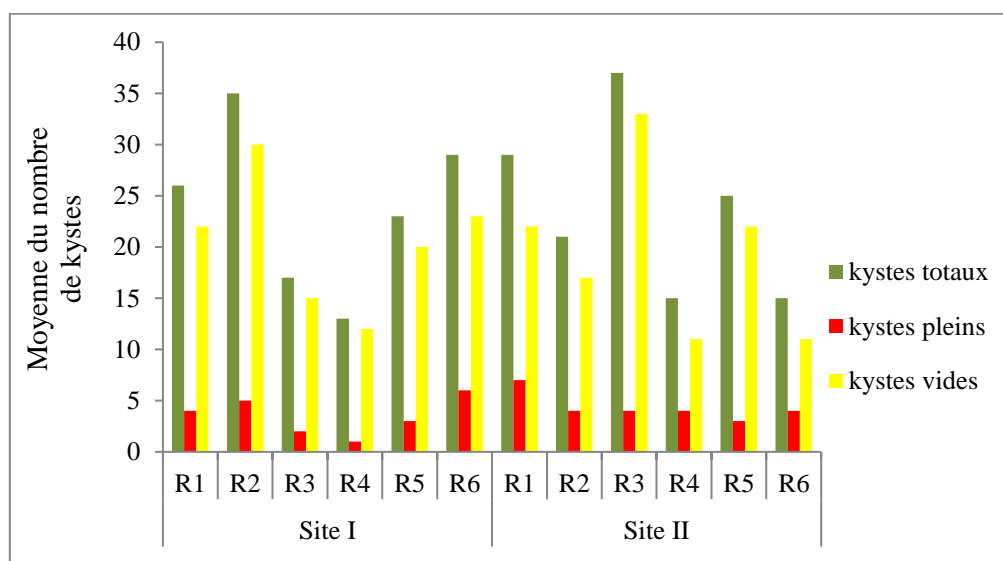
a-Stade levée.



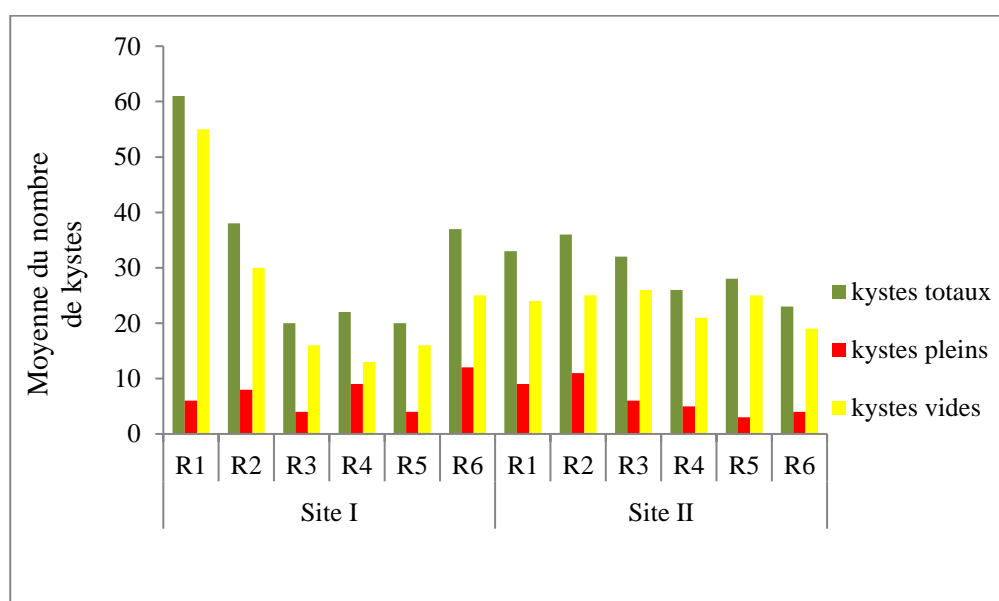
b-Stade tallage



c-Stade montaison



d- Stade Epiaison



e- Stade maturation

Figs. 37 - Variations de la densité de population des deux sites en fonction des stades végétatifs du blé dur.

Concernant les pourcentages des kystes, il apparaît clairement qu'au stade levée, les deux répétitions R6 du premier site et R1 du deuxième site ayant un pourcentage de kystes pleins qui se situe entre 6.6 et 12.5 et un pourcentage de kystes vides qui atteint le 100 %. Tandis qu'au stade maturation, le pourcentage des kystes vides (allant de 67.56 à 90.16 %) est toujours supérieur à celui des kystes pleins (variant entre 9.83 et 40.9 %) (Fig. 38 et 39).



Fig. 38 - Moyenne des pourcentages des kystes vides et pleins d' *Heterodera* en fonction des points prospectés (stade levée).



Fig. 39 - Moyenne des pourcentages des kystes vides et pleins d' *Heterodera* en fonction des points prospectés (stade maturation).

VI.2.2.3. Répartition du taux d'infestation des populations d'*Heterodera* spp.

Le taux d'infestation des populations des *Heterodera* sont illustrés dans la figure n°40.

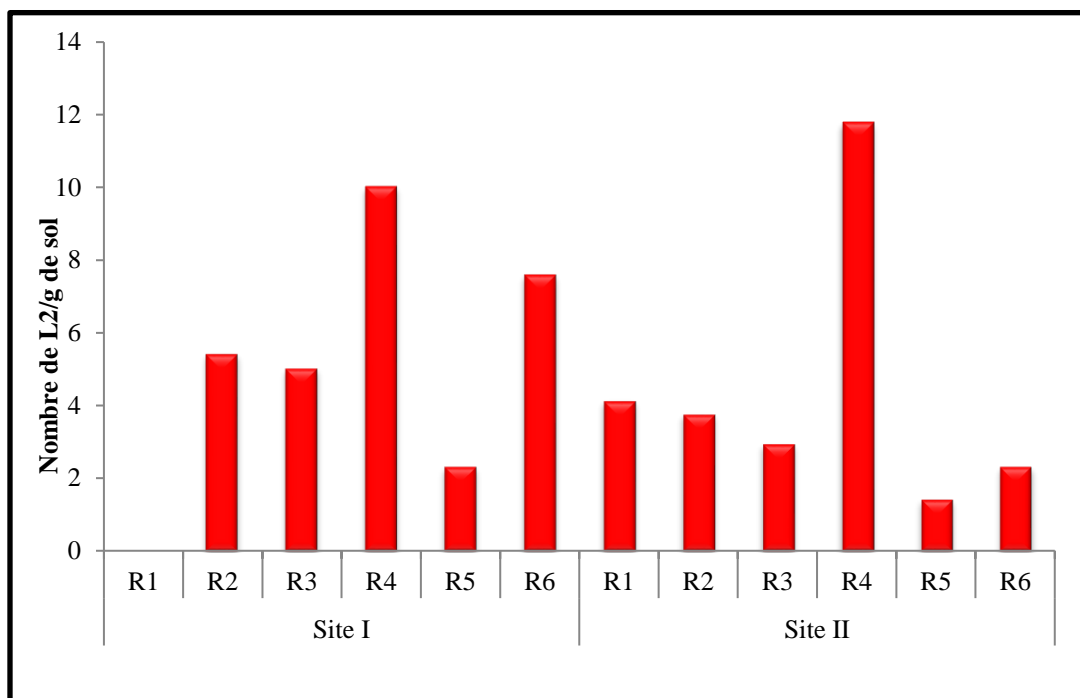


Fig. 40 - Moyenne des degrés d'infestation des *Heterodera* en fonction des sites étudiés (stade maturation).

Nous notons une variation graduelle des moyennes des infestations calculées, dépassant le seuil de nuisibilité qui est fixé à 10 L₂/g de sol, 12 L₂/g de sol dans la R6 du premier site, et la répétition R2 du deuxième site avec 10.02 L₂/g de sol. De même, ils varient de 1.43 à 7.61 L₂/g de sol dans les autres répétitions.

Dans la pratique, le degré de contamination du sol par les nématodes du genre *Heterodera* est souvent exprimé sous forme d'un nombre de kystes par unité de volume de sol. Aubert, (1987) déduit que cette indication assez grossière et imprécise peut être affinée en précisant le nombre de kystes pleins et le nombre de kystes vides ou, mieux encore, en recensant les juvéniles ou œufs vivants à l'intérieur des kystes (expression en nombre d'individus par g de sol). Le même auteur, rajoute que la taille des kystes varie énormément. Par conséquent, le potentiel infectieux représenté par le contenu des kystes doit également varier passablement d'un individu à l'autre.

VI.2.3. Identification des espèces de nématodes

L'observation microscopique des caractères morphologiques du cône vulvaire de plusieurs kystes prélevés dans une population pure a permis de dire qu'il s'agit bien d'*Heterodera avenae*. C'est une espèce inféodée aux céréales. Elle se caractérise par la présence de bullae dense et massive, deux semi-fenestrae, largement séparées par la vulve qui a une longueur moins de 20 µm. Cette dernière se trouve dans le pont vulvaire qui est dépourvu de ramification. Dans cette étude, nous avons pu confirmer la présence de cette espèce au sein des deux sites dans la région de Médéa.

L'identification des nématodes à kystes, de racines et du sol de la culture de blé dur a été confirmée par **ALBERTO Troccoli**, nématologiste au CNR, Nématologie de Bari, Italie.

Tableau 21. Les nématodes trouvés au stade maturation de la variété de blé dur Waha.

Sites	Répétitions	Espèce <i>Heterodera</i>	Autres nématodes associés (sol et racine).
Site I	R1	<i>H. avenae</i> , <i>H. latipons</i> , <i>H. filipjevi</i> .	<i>Ditylenchus</i> sp., <i>Longidorus</i> sp.
	R2	<i>H. avenae</i> , <i>H. filipjevi</i>	<i>Pratylenchoides</i> , <i>Longidorus</i> sp.
	R3	<i>H.avenae</i> , <i>H. latipons</i> , <i>H. filipjevi</i> .	<i>Pratylenchoides</i> , <i>Longidorus</i> sp., <i>Ditylenchus</i> spp.
	R4	<i>H.avenae</i> , <i>H. hordecalis</i> , <i>H. latipons</i> .	<i>Pratylenchoides</i>
	R5	<i>H. latipons</i> , <i>H. filipjevi</i> ,	<i>Ditylenchus</i> spp. <i>Pratylenchoides</i>
	R6	<i>H. avenae</i> , <i>H. latipons</i> .	<i>Pratylenchoides</i>
Site II	R1	<i>H. hordecalis</i> , <i>H. latipons</i>	<i>Pratylenchoides</i> , <i>Longidorus</i> spp.
	R2	<i>H. avenae</i> , <i>H. latipons</i>	<i>Ditylenchus</i> spp. <i>Longidorus</i> spp
	R3	<i>H. avenae</i> , <i>H. latipons</i>	<i>Longidorus</i> spp.
	R4	<i>H. hordecalis</i> , <i>H. latipons</i>	<i>Pratylenchoides</i>
	R5	<i>H. avenae</i> , <i>H. latipons</i>	<i>Ditylenchus</i> spp, <i>pratylenchoides</i>
	R6	<i>H. hordecalis</i> , <i>H. avenae</i> .	<i>Pratylenchoides</i>

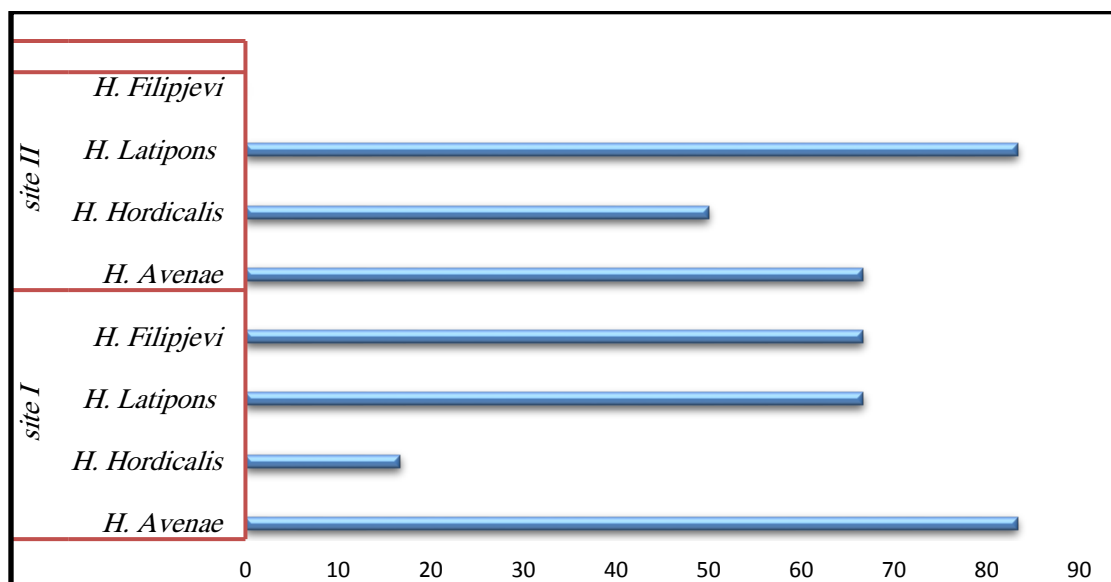
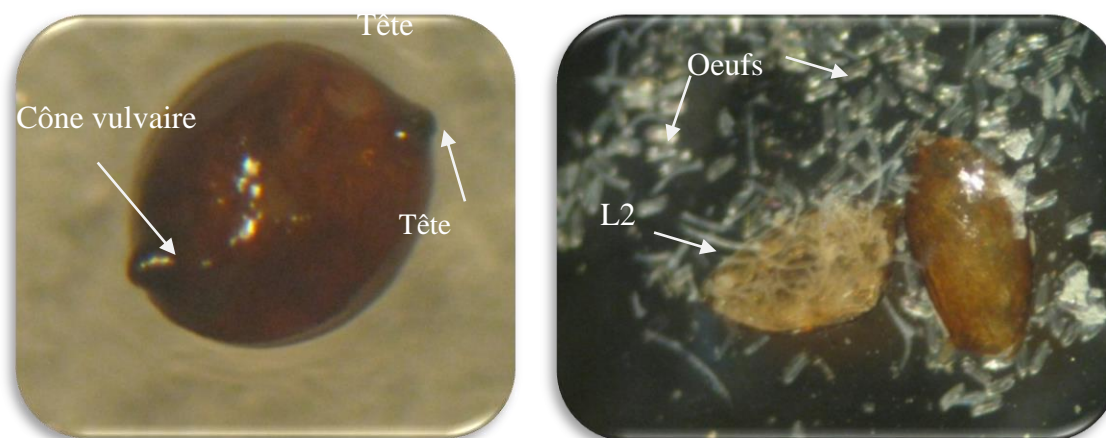


Fig. 41 - Pourcentages des espèces trouvées par répétition dans les deux sites de la variété waha de blé dur

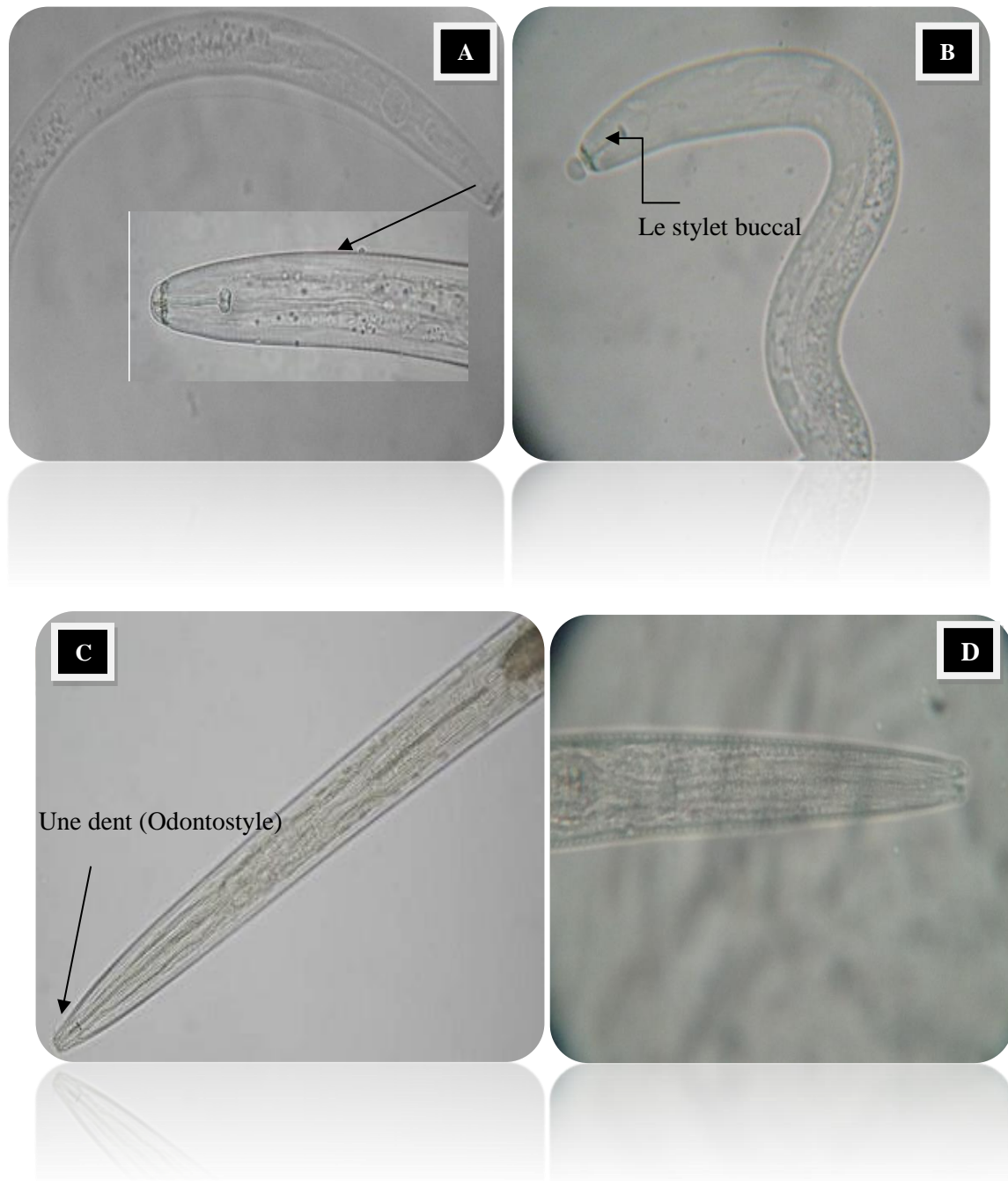
La figure ci-dessus, montre que 75 % des échantillons examinés sont infestés par le groupe *Heterodera avenae* et *H. latipons*, ce qui confirme le rôle de cette céréale dans le maintien et la prolifération du nématode à kyste dans le sol. *H. hordecalis* a été enregistrée sur 50% des échantillons étudiés. Tandis que, l'espèce *H. filipjevi* a été enregistré un taux de 66% dans le site I et leur présence n'a décelé que dans 0 % des échantillons dans le site II. Additionnellement à cet inventaire, nous avons mis en évidence la présence de nématodes saprophages en nombre important.



Kyste plein d'*H. avenae* (G1.6x10)

kyste plein d'*H. avenae* écrasé (G 1.6x10)

Photo. 13. Kyste d'*H. avenae* contenant des oeufs à différents stades embryologique et des larves L1 et L2 écloses. (Original).



Photos. 14 - Parties antérieures des nématodes identifiées ; **A** : Genre *Pratylenchoides* sp. (*pratylenchidae*). **B** : Genre *Ditylenchus* sp. (*Anguinidae*). **C** : Genre *Longidorus* sp. (*Dorylaimida*). **D** : Un nématode saprophage (Original).

VI.2.4. Evaluation du taux de multiplication

Le suivi de l'évolution des populations d'*Heterodera* dans les parcelles prospectées durant les cinq stades végétatifs a pour but d'évaluer leurs taux de multiplication. Ce

dernier est calculé selon la densité (kystes pleins/300 g de sol) de la population finale par rapport à la densité de la population initiale.

$$\text{Taux de multiplication} = D_{pf} / D_{pi}$$

D_{pf} : Densité de la population finale (stade maturation).

D_{pi} : Densité de la population initiale (stade levée).

La densité de la population initiale et finale de ce nématode et leur taux de multiplication sont portés dans le tableau 22 et illustrés dans les figures 42 et 43.

Tableau 22. La densité de la population initiale, finale et le taux de multiplication des *Heterodera* sur les deux sites étudiés.

Site	Densité de la population initiale (D _{pi})	Densité de la population finale (D _{pf})	Taux de multiplication (D _{pf} /D _{pi})
Site I	0.5	7.16	14.32
Site II	0.83	6.33	7.62

En ce qui concerne le taux de multiplication de ce nématode chez les deux sites étudiés, nous avons constaté qu'il est plus important chez le premier site SI (14.32). Par contre, il est moyen chez le deuxième site SII (7.62). Cela veut dire que le premier site (SI) est un endroit favorable pour la multiplication de ce parasite par la présence abondant des femelles. Nous pouvons confirmer ces résultats par l'analyse de la variance pour chercher les valeurs significatives.

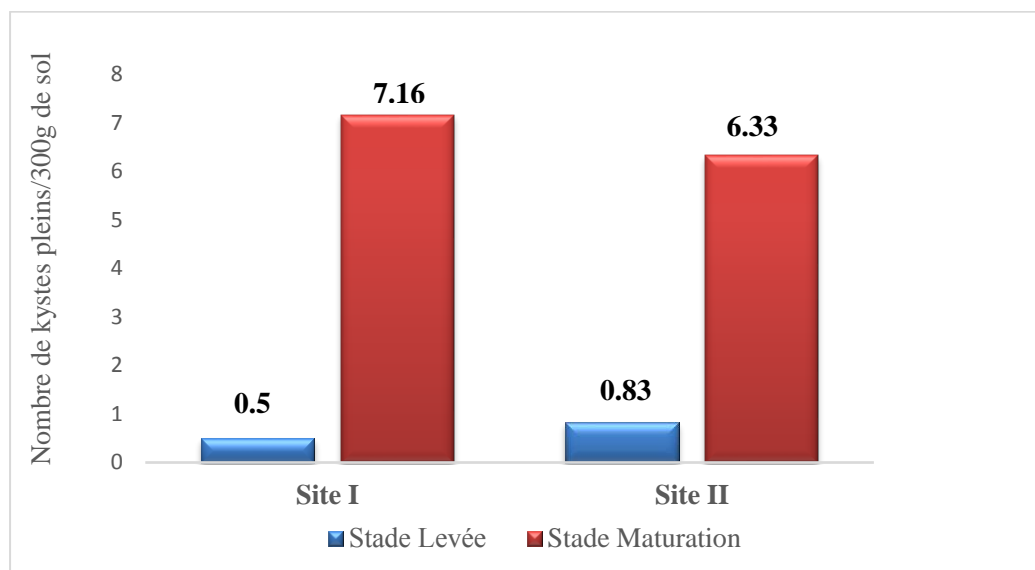


Fig. 42 - Comparaison du taux d'infestation des sites étudiés par les populations d'*Heterodera* spp. entre la période levée et maturation.



Fig. 43 - Comparaison du taux de multiplication des deux sites étudiés par les *Heterodera*.

VI.2.5. Nématodes phytoparasites trouvés dans les racines de blé dur

Durant la première année d'étude de la culture de blé dur, nous avons distingué deux phases : la première est la phase de développement et de multiplication de la densité de nématodes. La deuxième correspond à la diminution de la densité de populations.

a. Phase de multiplication de la densité de nématodes : elle s'étend de la levée jusqu'au stade montaison où elle se caractérise par une augmentation progressive de la densité de populations. La densité varie de 24 à 38 individus/½ g de racine fraîche au stade levée respectivement pour la répétition R6 du premier site et R6 du deuxième site. Puis, la densité de populations a augmenté au stade tallage pour atteindre 62 individus/ ½ g de racine. Mais la faible estimation a été enregistrée dans la répétition R3 du premier site (32 individus/½ g de racine). Durant le stade montaison, la densité varie de 38 à 103 individus/½ g de racine fraîche enregistrée dans la R3 et la R1 du premier site, l'accroissement de la densité pourrait s'expliquer par la tendreté du système racinaire, l'augmentation de la biomasse et les précipitations les plus élevées au début des stades végétatifs.

b. Phase de diminution de la densité de population : elle regroupe les deux derniers stades végétatifs (épiaison et maturation). Ces derniers sont caractérisés par une grande diminution de la densité de population, qui peut être due à la rigidité des racines, ce qui rend la survie et le déplacement de nématodes à l'intérieur des racines moins possible par rapport aux premiers stades de développement. Les résultats d'analyse montrent que dans le stade épiaison, la densité de nématodes à l'intérieur des racines varie entre 18 et 33 individus/½ g enregistrée au niveau de la R1 du deuxième site et dans la R2 du premier site et R6 du deuxième site. Par contre, au stade maturation, la plus grande densité de populations est trouvée dans la R2 du deuxième site et la plus faible a été enregistrée chez la R5 du premier site avec seulement 04 individus/½ g de racine fraîche.

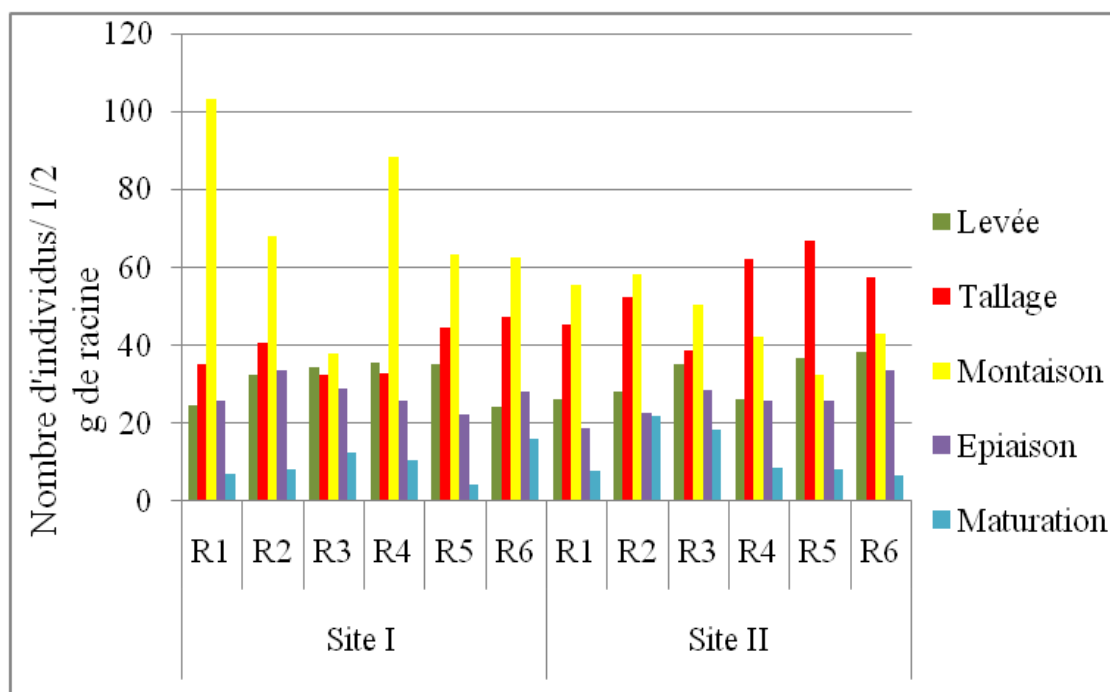


Fig. 44 – Résultats en moyennes du groupe trophique des nématodes phytoparasites trouvés dans les racines en fonction du stade végétatif.

VI.2.6. Nématodes filiformes trouvés dans le sol de la variété Waha de blé dur

Les groupes trophiques rencontrés sur la variété Waha de blé dur varient en fonction des stades végétatifs, ce qui explique les grandes élévations enregistrées dans la densité de populations de nématodes.

La moyenne du nombre total de nématodes du sol se situe entre 465 et 891/300g de sol au stade levée respectivement dans la répétition R1 et R5 du premier site. Mais, au stade tallage, il y'a une certaine stabilité dans la R1 du premier site par rapport à son nombre moyen au stade levée (de 465 à 492/300g de sol), ainsi que la répétition R2 du premier site a connu une régression de (787.33 à 652/300g). Mais, les autres répétitions ont connu une augmentation atteignant 1011 individus/300g enregistré au R4 du premier site. Tandis qu'au stade montaison, le nombre moyen du groupe trophique du nématode varie de 761 individus/300 g à 1536 individus/300g, respectivement pour les répétitions R5 et R4 du premier site.

Cependant, au stade épiaison le premier site a enregistré 1591 individus/300g de sol avec un degré d'infestation qui atteint 05.31.

Au stade maturation, il est dénombré dans R6 du premier site un nombre moyen de nématodes de 1960 individus/300g de sol, avec un degré d'infestation de 6.53.

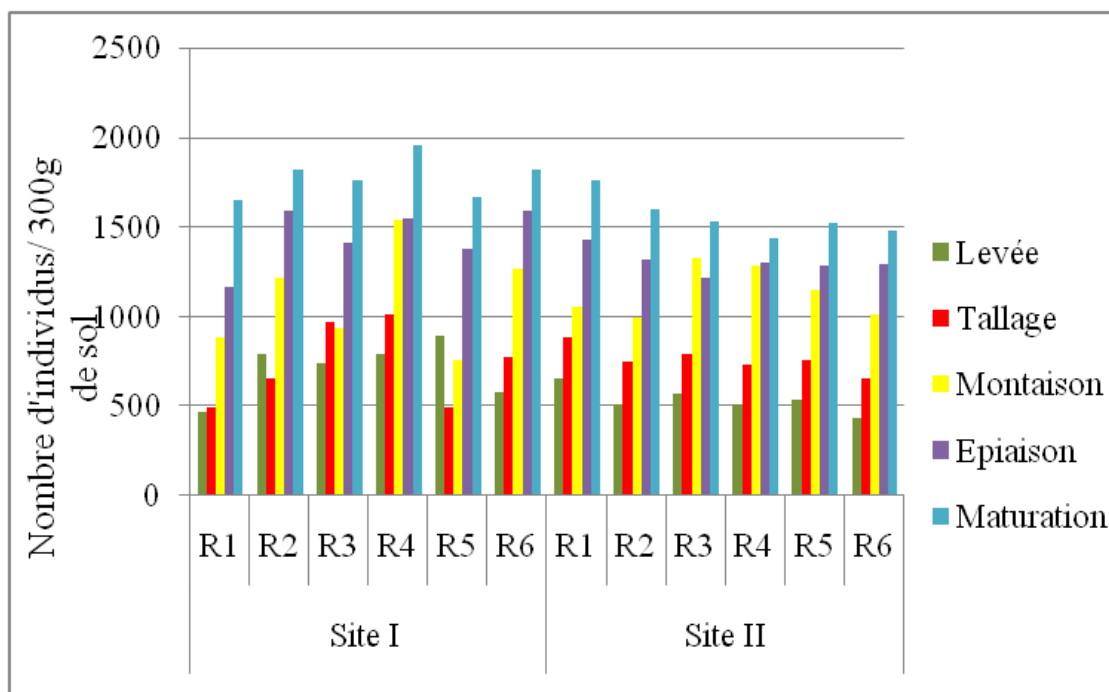


Fig. 45 – Résultats en moyennes du groupe trophique des nématodes filiformes dans le sol en fonction des stades végétatifs.

Sous l'angle nématologique, la non intervention provoquée par l'agriculteur et l'accroissement de la diversité du nombre total de parasite devraient théoriquement contribuer à augmenter le potentiel infestant et la pression parasitaire.

IV.2.7. Exploitation des résultats de l'analyse nématologique

IV.2.7.1. Analyse de la variance des variables liées aux parasites

a- Nombre de nématodes à kyste total

L'analyse de la variance au seuil de 5 % de la moyenne du nombre de nématode à kyste pleins/300g de sol sec montre des différences très hautement significatives car des probabilités calculées sont de 0,0002 dans le site I et de 0,0000 pour le deuxième site (annexe II, tab. 09).

La comparaison des moyennes deux à deux du nombre moyen de nématodes à kyste total à l'aide du test de Tukey a permis de faire ressortir les groupes homogènes consignés dans le tableau 23.

Tableau 23. Test de Tukey du nombre moyen de nématodes à kyste total.

Cellule	Moyenne et Groupes homogènes, alpha = 0,05 ; dl = 20					
	NNKT (kyste/300g de sol sec) (Site I)			NNKT (kyste/300 g sol sec) (Site II)		
1	MT	33.000	A	MT	29.667	A
2	E	23.833	AB	E	23.167	A
3	M	20.833	ABC	M	15.000	B
4	T	11.500	BC	T	12.167	B
5	L	8.500	C	L	9.833	B

(L (Levée), T (Tallage), M (Montaison), E (Epiaison), MT (Maturation)).

Le test de Tukey du nombre de nématodes à kyste total d'*Heterodera*, montre la présence de 03 groupes homogènes (A, B et C) chez le premier site, et 02 groupes homogènes (A et B) dans le deuxième site. Où nous avons enregistré un nombre moyen de 33 kystes/300g de sol sec dans le stade maturation et la plus faible comparaison a été obtenue dans le stade levée avec une moyenne de 8.5 kystes/300g.

b- Nombre de nématodes à kystes vides

L'analyse de la variance du nombre de kystes vides montre que la différence dans le premier site expérimental est très hautement significative avec des probabilités de 0,0000. Et hautement significative entre les périodes végétatives du premier site (annexe II, tab.10).

La comparaison des moyennes deux à deux du nombre moyen de nématodes à kyste vides à l'aide du test de Tukey a permis de faire ressortir les groupes homogènes consignés dans le tableau 24.

Tableau 24. Test de Tukey du nombre moyen de nématodes à kystes vides.

Cellule	Moyenne et Groupes homogènes, alpha = 0,05 ; dl = 20	
	NNKV (kyste vides/300g de sol sec) (Site I)	NNKV (kyste vides/300 g sol sec) (Site II)
1	MT 25.833 A	MT 23.333 A
2	E 20.333 AB	E 19.500 AB
3	M 18.833 AB	M 15.000 BC
4	T 10.833 B	T 10.833 C
5	L 8.000 B	L 9.000 C

(L (Levée), T (Tallage), M (Montaison), E (Epiaison), MT (Maturation)).

Le test de Tukey du nombre moyen de nématodes à kystes vides d'*Heterodera*, montre la présence de 02 groupes homogènes (A, B) chez le premier site, et 03 groupes homogènes (A, B et C) dans le deuxième site.

c- Nombre de nématodes à kystes pleins

L'analyse de la variance au seuil de 5 % de la moyenne du nombre de nématode à kystes pleins/300g de sol sec montre des différences très hautement significatives parce que les probabilités calculées sont de 0,0000 dans les deux sites (annexe II, tab.11).

La comparaison des moyennes deux à deux du nombre moyen de nématodes à kystes pleins à l'aide du test de Tukey a permis de faire ressortir les groupes homogènes portés dans le tableau 25.

Tableau 25. Test de Tukey sur le nombre moyen de nématodes à kystes pleins.

Cellule	Moyenne et Groupes homogènes, alpha = 0,05 ; dl = 20	
	NNKP (kyste pleins/300g de sol sec) (Site I)	NNKP (kyste pleins/300 g sol sec) (Site II)
1	MT 7.1667 A	MT 6.3333 A
2	E 3.5000 B	E 4.1667 A
3	M 2.0000 BC	M 1.5000 B
4	T 0.6667 C	T 1.3333 B
5	L 0.5000 C	L 0.8333 B

Les résultats du test de Tukey concernant le nombre de nématodes à kystes pleins d'*Heterodera* montrent la présence de 03 groupes homogènes (A, B et C) chez le premier site, et 02 groupes homogènes (A et B) dans le deuxième site.

d- Nombre de nématodes filiformes de racines

L'analyse de la variance de nématodes filiformes de racine montre des différences très hautement significatives avec des probabilités de 0.0000. Donc, la variété Waha est semblable vis-à-vis de ce variable dans un sol argileux et argileux limoneux. Donc, le variable texture joue un rôle sur ce paramètre. Par contre, leur interaction est hautement significative dans le premier site (C.V. =33.20%). (annexe II, tab.12).

La comparaison des moyennes deux à deux du nombre moyen de nématodes phytoparasites trouvés dans la racine durant les cinq stades phénologiques des deux sites à l'aide du test de Tukey a permis de faire ressortir les groupes homogènes consignés dans le tableau 26.

Tableau 26. Test de Tukey sur le nombre moyen des nématodes phytoparasites trouvés dans la racine durant les cinq stades phénologiques des deux sites.

Cellule	Moyenne et Groupes homogènes, alpha = 0,05 ; dl = 20	
	NNFR (½ g de racine fraîche) (Site I)	NNFR (½ g de racine fraîche) (Site II)
1	T 53.608 A	M 70.387 A
2	M 46.720 A	T 38.553 B
3	L 31.610 B	L 30.777 B
4	E 25.552 BC	E 27.162 BC
5	MT 11.552 C	MT 9.442 C

(L (Levée), T (Tallage), M (Montaison), E (Epiaison), MT (Maturation)).

Le test de Tukey a fait ressortir 3 groupes homogènes A, B et C, qui se chevauchent. La meilleure combinaison est obtenue au niveau du site II dans le stade montaison (70 individus/ ½ g de racine fraîche), et la plus faible valeur est donnée dans le même site avec (9 individus/ ½ g de racine fraîche).

e- Nombre de nématodes filiformes du sol

Concernant la variable du nombre de nématodes filiformes trouvés dans le sol, l'ANOVA montre un effet très hautement significatif entre les stades phénologiques. De même, entre les stades végétatifs, (annexe II, tab.13).

La comparaison des moyennes deux à deux du nombre moyen de nématodes des nématodes filiformes trouvé dans le sol durant les cinq stades phénologiques des deux sites à l'aide du test de Tukey a permis de faire ressortir les groupes homogènes consignés dans le tableau 27.

Tableau 27. Test de Tukey sur le nombre moyen des nématodes filiformes trouvé dans le sol durant les cinq stades phénologiques des deux sites.

Cellule	Moyenne et Groupes homogènes, alpha = 0,05 ; dl = 20	
	NNFS (300 g du sol) (Site I)	NNFS (300 g du sol) (Site II)
1	MT 1718.2 A	MT 1613.2 A
2	E 1445.8 A	E 1295.7 B
3	M 1101.2 B	M 1147.8 B
4	T 732.0 C	T 761.7 C
5	L 708.1 C	L 540.3 D

(L (Levée), T (Tallage), M (Montaison), E (Epiaison), MT (Maturation)).

Le test de Tukey a fait ressortir 3 groupes homogènes A, B et C, dans le premier site, et 4 groupes homogènes dans le deuxième site (D). La meilleure combinaison est obtenue au niveau du site I au stade maturation (1718 individus/ 300 g de sol). Par contre, la plus faible moyenne est enregistrée au stade levée du deuxième site II.

f- Degrés d'infestation (L2/g de sol)

L'analyse de la variance au seuil de 5 % de la variable concernant le degré d'infestation (L₂/g de sol), révèle des différences très hautement significatives avec des probabilités de 0.0000. Donc, la variété Waha est semblable vis-à-vis de cette variable dans un sol argileux et argileux calcaire. Donc, la variété hôte joue un rôle important sur ce paramètre (annexe II, tab.14).

La comparaison des moyennes deux à deux degré moyen d'infestation des nématodes phytoparasites trouvés dans les racines durant les cinq stades phénologiques à l'aide du test de Tukey a permis de faire ressortir les groupes homogènes portés dans le tableau 28.

Tableau 28. Test de Tukey sur le degré moyen d'infestation des nématodes phytoparasites trouvés dans les racines durant les cinq stades phénologiques.

Cellule	Moyenne et Groupes homogènes, alpha = 0,05 ; dl = 20	
	Degré d'infestation DINF (L ₂ /g de sol) (Site I)	Degré d'infestation DINF (L ₂ /g de sol) (Site II)
1	MT 5.7217 A	MT 5.3433 A
2	E 4.8183 A	E 4.3167 B
3	M 3.6667 B	M 3.8217 B
4	T 2.5483 C	T 2.5367 C
5	L 2.3583 C	L 1.7983 D

(L (Levée), T (Tallage), M (Montaison), E (Epiaison), MT (Maturation)).

Les résultats du test de Tukey révèlent la présence de 03 groupes homogènes (A, B et C) chez le premier site, et 04 groupes homogènes (D) dans le deuxième site.

VI.2.7.2. Relation entre le degré d'infestation et le nombre des kystes pleins

La courbe de régression des effectifs de larves L₂/g de sol (stade infectieuse) en fonction du nombre des kystes pleins de levée jusqu'à la maturation est montrée dans la figure 46.

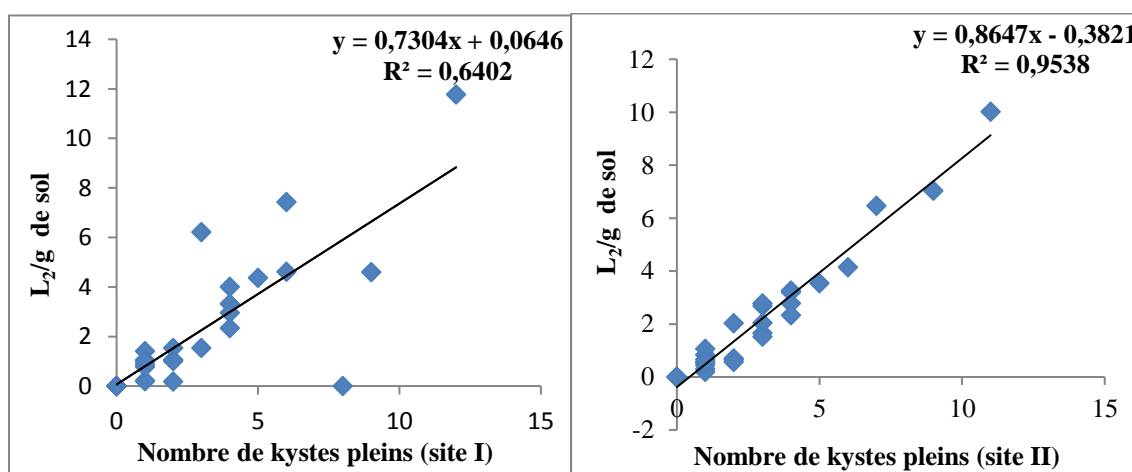


Fig. 46 - Régression du nombre moyen de L₂/g de sol en fonction du nombre de kyste pleins trouvés dans le sol en fonction des stades végétatifs de la variété Waha de blé dur.

L'analyse de la régression linéaire montre que le nombre de L₂/g de sol et le nombre des kystes pleins sont positivement corrélés avec un coefficient de détermination moyenne de ($R^2=0,64$) dans le premier site et 95% de la variation dans le deuxième site. Cette corrélation entre ces deux variables pourrait s'expliquer par l'influence du même facteur sur celles-ci qui est probablement la texture des deux sites expérimentaux.

VI.2.8. Model d'évolution du nombre de nématodes (phytoparasites et libres) en fonction des dates de prélèvement du sol.

VI.2.8.1. Mode d'évolution des nématodes à kystes trouvés dans le sol

L'évolution du nombre de nématodes à kystes trouvés dans le sol en fonction du nombre de jours de prélèvement est consignée dans le tableau n° 29.

Tableau 29. Evolutions du nombre de nématodes à kystes totaux, vides et pleins dans le sol des deux sites en fonction des dates de prélèvement.

t (jours)	Nombre moyen de nématodes à kystes totaux (300 g de sol)	Nombre moyen de nématodes à kystes totaux (300 g de sol)	Nombre moyen de nématodes à kystes vides (300 g de sol)	Nombre moyen de nématodes à kystes vides (300 g de sol)	Nombre moyen de nématodes à kystes pleins (300 g de sol)	Nombre moyen de nématodes à kystes pleins (300 g de sol)
52	08,50	09,83	08	09	0,50	0,83
91	11,50	12,16	10,83	10,83	0,66	1,33
128	20,83	15,00	18,83	13,50	02	1,50
152	23,83	23,66	20,33	19,50	3,50	4,16
180	33,00	29,66	25,83	23,33	7,16	6,33

Les résultats d'analyse nématologique montrent des augmentations progressives des variations du nombre moyen de nématodes à kystes totaux, vides et pleins dans 300 g de sol sec qui atteint un nombre moyen de 33 kystes dans le 180^{ème} jour du site I et un nombre moyen de 29.66 kystes /300 g de sol sec dans le deuxième site.

Les kystes pleins trouvés dans chaque prélèvement ont connus aussi une augmentation. Ils débutent de 0.50 dans le site I et 0.83 dans le site II, et atteignent 7.16

dans le deuxième site (180^{ème} jour de prélèvement). Cela explique l'influence du temps sur la multiplication de la population phytoparasite.

Tableau 30. Degré moyen d'infestation de nématodes à kystes

t (jours)	Degré moyen d'infestation de nématodes à kystes (L ₂ /g de sol)	Degré moyen d'infestation de nématodes à kystes (L ₂ /g de sol)
	(Site I)	(Site II)
52	0,41	0.28
91	0,39	0.77
128	1,34	0.98
152	2.90	3.32
180	5,78	4.97

(L (Levée), T (Tallage), M (Montaison), E (Epiaison), MT (Maturation)).

Dans le premier site, le degré d'infestation en (L₂/g de sol) a connu une augmentation moyenne de 0.41 dans la première date de prélèvement à 5.72 dans la dernière date. De même, il atteint 4.97 dans le deuxième site, ce qui explique que les périodes végétatives ont influencé sur le taux de multiplication de nématodes et augmenter leur capacité d'attaque.

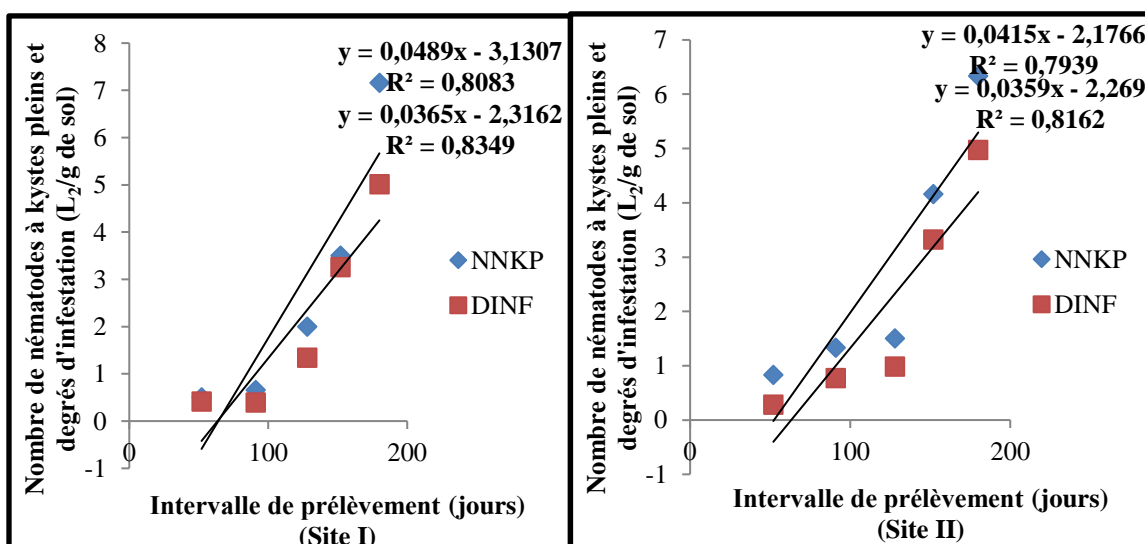


Fig. 47 - Mode d'évolution de nématodes à kystes pleins et le degré d'infestation en fonction du temps de prélèvement.

Il y a une forte corrélation entre les variables (temps de prélèvement, nombre moyen de nématodes à kyste et le degré d'infestation).

III.2.8.2. Mode d'évolution de nématodes filiformes trouvés dans le sol et la racine

Après le semis, nous avons pris des échantillons du sol dans les deux sites expérimentaux qui coïncident avec les stades phénologiques de la variété Waha de blé dur afin de dénombrer les différentes variables en fonction du nombre de jours calculés à partir de la date de semis. Les résultats sont portés sur le tableau 31.

Tableau 31. Evolution du nombre moyen de nématodes phytoparasites dans les racines des deux sites en fonction des dates de prélèvement.

t (jours)	NNP (1/2 g de racine fraîche) (Site I)	NNP (1/2 g de racine fraîche) (Site II)	NNFS/ (300 g de sol) (Site I)	NNFS/ (300 g de sol) (Site II)	Degré d'infestation (L ₂ /g de sol) (Site I)	Degré d'infestation (L ₂ /g de sol) (Site II)
52	30,77	31,61	708,11	540,33	2,35	1,79
91	38,55	53,6	732,00	761,66	2,54	2,53
128	70,38	46,72	1101,16	1147,83	3,66	3,82
152	27,16	25,55	1445,83	1295,66	4,81	4,31
180	9,44	11,55	1718,16	1613,16	5,72	5,37

Une augmentation dans la densité de populations de nématodes phytoparasites dans 1/2 g de racine a été enregistré depuis le semis jusqu'à 128^{ème} jour avec un nombre moyen de 70 individus/ 1/2 g de racine fraîche. Suivie par une chute du nombre d'individus (9 individus/ 1/2 g de racine fraîche).

Au contraire, le nombre moyen de nématodes filiformes trouvés dans 300 g de sol a connu une augmentation progressive en fonction du temps. Dont, il débute avec un nombre moyen de 708 individus/300g de sol dans le 52^{ème} jour et atteint 1718 individus/300g de sol dans le 128^{ème} jour.

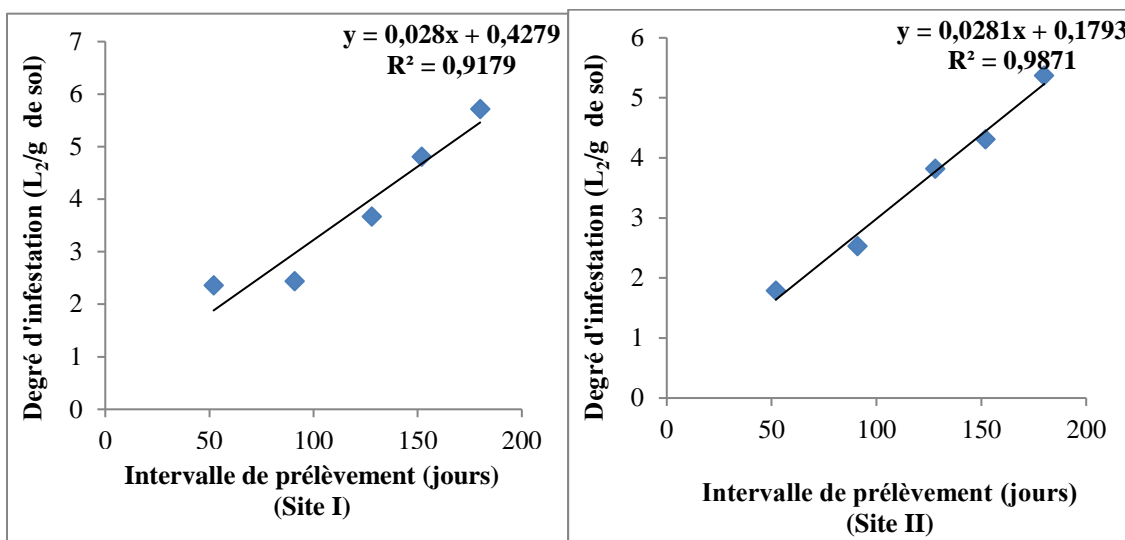


Fig. 48 - Régression du degré d'infestation (L₂/g de sol) en fonction des dates de prélèvement dans les deux sites de la variété Waha de blé dur.

La régression linéaire du degré moyen d'infestation en fonction des dates de prélèvement des échantillons du sol est positivement corrélée et le coefficient de détermination s'élève à ($R^2=0,91$) dans le premier site et 98 % de variation dans le deuxième site.

VI.2.9. Effet de nématodes à kystes et filiformes sur les paramètres de croissance de blé dur.

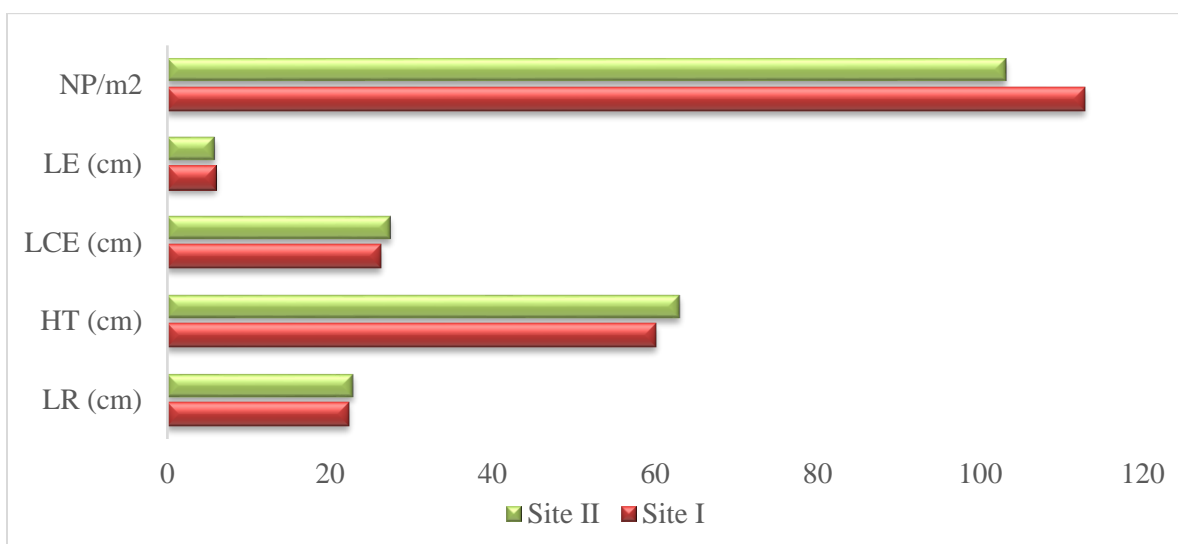
Les paramètres de croissance qui ont été pris en considération sont représentés par ; la longueur moyenne de racine, la hauteur moyenne de la tige, longueur moyenne du col de l'épi, nombre moyen de plants par m², et les composantes du rendement (nombre moyen des talles par m², nombre moyen d'épi par m², nombre moyen de grain par épi, le PMG moyen et le rendement moyen).

Les résultats des paramètres de croissance sont représentés dans l'annexe I (Tab.07 et 08), et synthétisés dans le tableau 32.

Tableau 32. Valeurs moyennes des paramètres morphologiques pris en considération.

Site	Répétitions	Longueur moyenne de racine (cm)	Hauteur moyenne de la tige (cm)	Longueur moyenne du col de l'épi (cm)	Longueur de l'épi (cm)	Nombre moyen de plants/m ²
Site I	R1	22.13	62.85	31.30	6.46	132.66
	R2	19.5	57.00	19.66	5.74	113.66
	R3	22	49.50	26.94	6.70	119.33
	R4	19.7	58.83	23.90	5.30	129.33
	R5	18.2	67.20	28.80	6.15	76.66
	R6	20.3	65.50	26.68	5.08	105.33
Site II	R1	25.66	64.33	28.35	5.10	104.54
	R2	22.43	52.03	25.50	5.40	115.00
	R3	22.20	66.07	26.07	6.26	108.66
	R4	21.66	57.24	28.70	5.60	86.33
	R5	24.06	70.61	29.20	6.45	112
	R6	21.2	67.82	27.10	6.30	92.33

Les résultats des paramètres morphologiques étudiés révèlent qu'il y a des variations enregistrées entre les sites et les répétitions au sein de la même parcelle.

**Fig. 49** - Les paramètres morphologiques considérés en fonction des sites

VI.2.9.1. Analyse de la variance de la longueur de racines

Nous avons procédé à l'analyse de variance au seuil de 5 % pour les variables liées à la plante hôte, à savoir la longueur moyenne de racines. C'est le seul paramètre morphologique qui a été suivi durant les cinq stades phénologiques et dans les deux sites.

La probabilité calculée pour la longueur des racines présente aussi un effet très hautement significatif ($p=0000<0,001$) peut être, il est influencé par la texture du sol, le degré d'infestation et d'autres facteurs liés à la pédoclimatique (annexe, tab.15).

La comparaison des moyennes de la longueur de racines deux à deux à l'aide du test de Tukey a permis de faire ressortir les groupes homogènes consignés dans le tableau 33.

Tableau 33. Test de Tukey au seuil de 5% sur la longueur de racines.

Cellule	Moyenne et Groupes homogènes, alpha = 0,05 ; dl = 20					
	Longueur moyenne de racines (cm)			Longueur moyenne de racines (cm)		
	(Site I)			(Site II)		
1	MT	20.305	A	MT	23.097	A
2	E	18.868	A	E	19.745	B
3	M	16.497	B	M	16.830	C
4	T	15.047	B	T	14.123	D
5	L	8.223	C	L	7.467	E

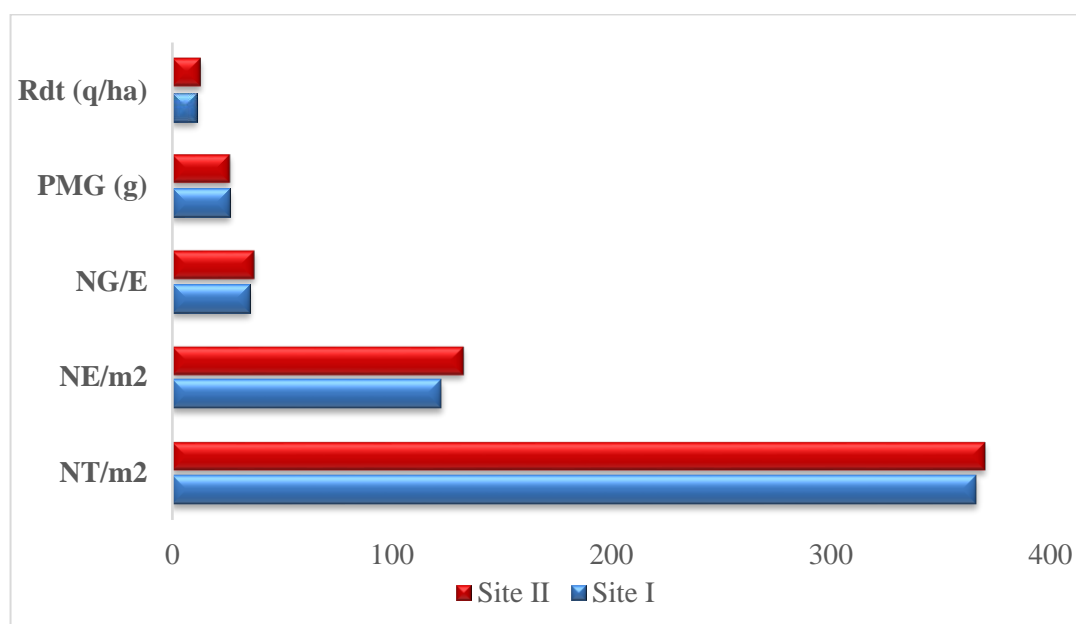
(L (Levée), T (Tallage), M (Montaison), E (Epiaison), MT (Maturation)).

Le test de Tukey indique la présence de trois groupes homogènes. L'un rassemble deux stades, à savoir épiaison et maturation avec une longueur de racine qui est de l'ordre de 18.86 cm et 20.30 cm. Le deuxième site a fait ressortir 05 groupes homogènes, ce qui renferme les variations de la longueur des racines entre les stades de développement.

Tableau 34. Valeurs moyennes des composantes des rendements pris en considération.

Site	Répétitions	Nombre moyen de talle/m ²	Nombre moyen d'épis/m ²	Nombre moyen de grains/épi	Poids moyen de mille grains (PMG) (g)	Rendement moyen (qx/ha)
Site I	R1	418.00	171.66	29.66	24.23	12.25
	R2	364.00	128.33	31.66	23.65	9.36
	R3	392.33	103.33	39.66	26.16	10.68
	R4	300.00	111.33	36.33	27.55	11.08
	R5	388.00	104.33	35.66	29.35	10.87
	R6	335.00	114.33	40.66	25.65	12.81
Site II	R1	380.66	117.00	34.28	28.64	13.34
	R2	362.66	146.00	30.79	28.78	12.54
	R3	409.00	133.33	45.47	22.73	12.90
	R4	253.33	144.00	36.66	24.92	13.12
	R5	412.66	149.66	32.44	24.00	12.50
	R6	402.00	105.00	44.92	28.67	14.46

Les résultats des composantes du rendement montrent les variations enregistrées entre les variable et les sites

**Fig. 50** - Composantes des rendements considérés en fonction de sites.

Les différences calculées par rapport aux moyennes restent élevées entre les deux sites pour la variable nombre de talles/m², nombre d'épis/m² et le rendement, ce qui explique et témoigne d'ailleurs de la variabilité de la densité d'attaque de nématode phytoparasites et à kystes du genre *Heterodera* spp.

VI.2.9.2. Analyse des corrélations

L'exploitation par une analyse en composantes principales des variables liées à la plante hôte et au parasite, a permis de mettre en évidence une corrélation entre les variables et en fonction des résultats obtenus pour chaque stade végétatif. La corrélation existante entre les variables ou paramètres a été mesurée par le calcul du coefficient de Pearson.

Tableau 35. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade tallage dans le site I.

Variable	NNFR	NNFS	DINF	NNKTH	NNKVH	NKPH	%CaCO ₃	CE	%CO	%MO	pH
NNFR	1										
NNFS	ns	1									
DINF	ns	1,000**	1								
NNKTH	ns	ns	ns	1							
NNKVH	ns	-0,485*	-0,485*	0,985**	1						
NNKPH	ns	ns	ns	0,633**	0,491*						
%CaCO ₃	ns	-0,499*	-0,499*	0,555*	0,590*	ns	1				
CE	ns	-0,497*	-0,497*	ns	ns	ns	ns	1			
%CO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1		
%MO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	
pH	ns	ns	ns	0,647**	0,642**	ns	ns	0,586*	ns	ns	1

Cependant, au niveau de la matrice de corrélation, certaines relations méritent d'être apportées, on note le nombre de nématodes filiformes du sol (NFS) avec le nombre de NKVH (-0,485) ; avec le % CaCO₃ (-0,499) et avec la conductivité électrique (CE) (0,497). La seule corrélation positive est celle du NFS avec le degré d'infestation de nématodes filiformes du sol (1,000). Elle est très hautement significative. Par contre, les autres corrélations restent non significatives.

Pour ce qui est du nombre de nématodes à kystes vides d'*Heterodera*, la matrice de corrélation dégage des corrélations positives au seuil ($p < 0,05$) avec les nématodes à kyste pleins et le taux de calcaire, avec des valeurs de (0,491 ; 0,590) respectivement, et d'autres négatives avec le nombre de NFS et le DINF avec une valeur de (-0,485). Deux corrélations hautement significatives ont été relevées avec le nombre de kystes totaux et le pH du sol (0,985 ; 0,64).

Tableau 36. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade tallage dans le site II.

Variable	NFR	NFS	DINF	NKTH	NKVH	NKPH	%CaCO ₃	CE	%CO	%MO	pH
NFR	1										
NFS	ns	1									
DINF	ns	1,000**	1								
NKT	- 0,590**	ns	ns	1							
NKV	- 0,592**	ns	ns	0,987**	1						
NKP	ns	ns	ns	0,595**	0,504*	1					
%CaCO ₃	ns	-0,489*	-0,489*	ns	ns	ns	1				
CE	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1			
%CO	-0,587*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1		
MO	-0,563*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,998**	1	
pH	ns	ns	ns	-0,695**	- 0,695**	ns	0,487*	-0,533*	ns	ns	1

Pour la période tallage de la variété Waha de blé dur, la matrice de corrélation montre l'existence des corrélations, les unes sont positives et très hautement significatives au seuil 0,001 avec les différents paramètres étudiés. Entre le nombre de NFS et DINF (1,000) ; le nombre de NKT et les NKVH (0,987) et entre le taux de MO et le taux de CO (0,998). Les autres corrélations sont négatives et significatives au seuil $p < 0,05$ comme celles entre le nombre de NFR, NKT et NKV d'*Heterodera* (-0,590), le taux de carbone organique (-0,587) ; entre le nombre de NKT et le pH du sol (-0,695). (Annexe, tableau 20).

Tableau 37. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade maturation dans le site I.

Variable	NNFR	NNFS	DINF	NNKT	NNKV	NNKP	DINFK	NT/M ²	NE/M ²	NG/E	PMG	RDT
NNFR	1											
NNFS	0,494*	1										
DINF	0,494*	1,000**	1									
NNKT	ns	Ns	ns	1								
NNKV	ns	Ns	ns	,976**	1							
NNKP	ns	Ns	ns	ns	ns	1						
DINFK	0,582*	0,498*	0,498*	ns	ns	0,773**	1					
NT/M²	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	-0,651**	1				
NE/M²	ns	Ns	ns	ns	0,642**	0,649**	ns	ns	1			
NG/E	ns	Ns	ns	ns	-0,492*	-0,559*	ns	ns	-0,734**	1		
PMG	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,514*	ns	1	
RDT	-0,500*	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1

La matrice de corrélation des principaux paramètres étudiés au stade maturation de la variété Waha de blé dur dans le premier site expérimental montre des corrélations négatives non significatives avec la plupart des autres paramètres où la différence est significative au seuil ($p > 0,05$). D'autres corrélations positives et significatives ont été dégagées, tel que le nombre de kystes total avec le nombre de NKV (0,976) et avec le nombre d'épis par mètre carré (NE/M²) (0,642) ; et entre le nombre de nématodes à kystes pleins avec le degré d'infestation des kystes (DINFK) (0,773). D'autres corrélations négatives et très hautement significatives ont été révélées, comme le nombre d'épis par mètre carré avec le nombre de grains/épis (-0,734), et significatives avec le PMG (0,514), NNKP- NG/Epi (-0,559). (Annexe, tableaux 25).

Tableau 38. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade maturation dans le site II.

Variable	NNFR	NNFS	DINF	NNKT	NNKV	NNKP	DINFK	NT/M ²	NE/M ²	NG/Ep	PMG	RDT
NNFR	1											
NNFS	0,545*	1										
DINF	0,545*	1,000**	1									
NNKT	ns	ns	ns	1								
NNKV	ns	ns	ns	0,897**	1							
NNKP	ns	0,719**	0,719**	0,604**	ns	1						
DINFK	0,596**	0,910**	0,910**	ns	ns	0,745**	1					
NT/M²	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1				
NE/M²	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1			
NG/Epi	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,753**	1		
PMG	ns	0,486*	0,486*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	
RDT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1

Pour la période maturation du deuxième site expérimental, la matrice de corrélation montre également l'existence des corrélations positives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) tel que le degré d'infestation des kystes avec le nombre de NFS (0,910) et de NKP (0,745). Le nombre de NKT avec NNKV (0,897), comme le nombre de NFR et NNFS avec le nombre de nématodes à kystes pleins (0,719), et le nombre de NKT (0,604). Une seule corrélation négative et très hautement significative au seuil ($p < 0,001$) comme celle du nombre d'épis par mètre carré et le nombre de grains par épis (-0,753) (annexe, tableau 26).

Au cours du suivi de notre essai, après le semis et au stade levée, nous avons remarqué l'effet des nématodes sur les deux sites de la variété Waha de blé dur par une végétation faible qui se manifeste sous forme d'une hétérogénéité dans le développement des plantes au sein des deux sites expérimentaux (photo. 15).



a. La parcelle de la variété Waha de blé dur (Site I) (Original).



b. La parcelle de la variété Waha de blé dur (Site II) (Original).

Photo. 15 - Les deux sites de la variété Waha de blé dur

Nous retenons donc que les variables liées à la capacité de production de la variété et le rendement sont influencées par la densité d'attaque des nématodes. Dans ce qui suit, nous recherchons les corrélations qui peuvent ressortir entre les degrés d'infestation de ces parasites et les paramètres de croissance de la plante hôte. Dans ce cas-là, l'analyse de la corrélation est avérée intéressante afin de tirer plus d'information sur les variables étudiées.

VI.2.10. Evaluation du taux de distribution des nématodes filiformes**VI.2.10.1. Dans les racines**

Le pourcentage des nématodes filiformes du genre *Pratylenchoides* trouvés dans les racines du premier site est de 27.77 %, et 23.33 % dans le deuxième site. Parallèlement, le pourcentage des *Dorylaimides* est presque similaire entre 29.44% dans le site I et 32.21% dans le site II. Concernant les nématodes phytoparasites du genre *Ditylenchus*, il est abondant dans le premier site avec un pourcentage de 31.11%, et 25.55% dans le deuxième site. Par contre, le plus faible pourcentage de nématodes filiformes se trouve dans les saprophages avec 11.66% et 18.88% respectivement dans le premier et le deuxième site.

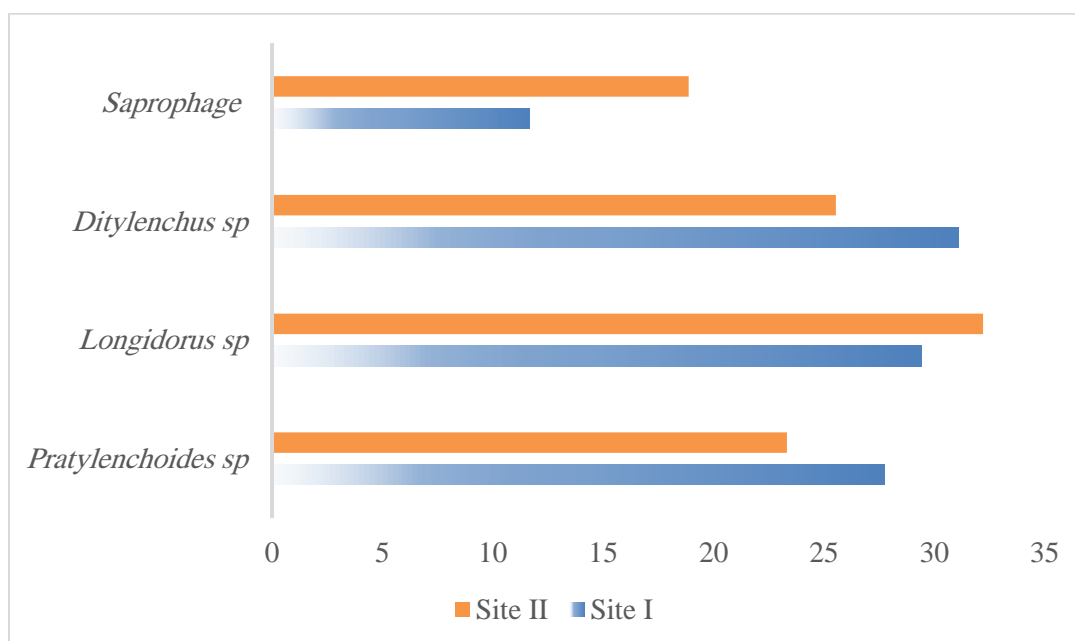


Fig. 51 – Résultats en moyenne de la présence de nématodes phytoparasites attaquant les racines dans les deux sites.

VI.2.10.2. Matrice de corrélation des principaux genres trouvés dans les racines

Les résultats de la matrice de corrélation trouvés dans le tableau 39.

Tableau 39. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux genres de nématodes filiformes trouvés au stade maturation de racines de la variété Waha de blé dur.

	Variable	<i>Pratylenchoïdes</i>	<i>Longidorus</i>	<i>Ditylenchus</i>	<i>Saprophages</i>
Site I	<i>Pratylenchoïdes</i>	1			
	<i>Longidorus</i>	ns	1		
	<i>Ditylenchus</i>	ns	ns	1	
	<i>Saprophages</i>	ns	ns	ns	1
Site II	<i>Pratylenchoïdes</i>	1			
	<i>Longidorus</i>	ns	1		
	<i>Ditylenchus</i>	-0.932***	ns	1	
	<i>Saprophages</i>	ns	-0.949***	ns	1

La matrice de corrélation obtenue entre les principaux genres de nématodes filiformes trouvés dans les racines des deux sites montre des corrélations non significatives dans le premier site. Par contre, dans le deuxième, la matrice révèle des corrélations négatives et très hautement significatives entre les *Dorylaimides* et les autres nématodes saprophages (-0,949), et entre les *Pratylenchus* et les nématodes phytoparasites du genre *Ditylenchus* (-0,932) (annexe, tableau 27 et 28).

VI.2.10.3. Dans le sol

Nous pouvons déduire à partir des résultats illustrés dans la figure ci-dessous, la dominance des nématodes Saprophages et *Dorylaimides* dans le sol des deux sites par des pourcentages systématiques 33.33 % et 30 % respectivement dans les deux sites. Par contre, les nématodes filiformes du genre *Pratylenchoïdes* et *Ditylenchus* ont été enregistrés les plus faibles pourcentages dans le sol des deux sites entre 14.44 % dans le premier site et 17.77% dans le deuxième site, et 20 % du *Ditylenchus* dans le site I et 18.88 % dans le site II.

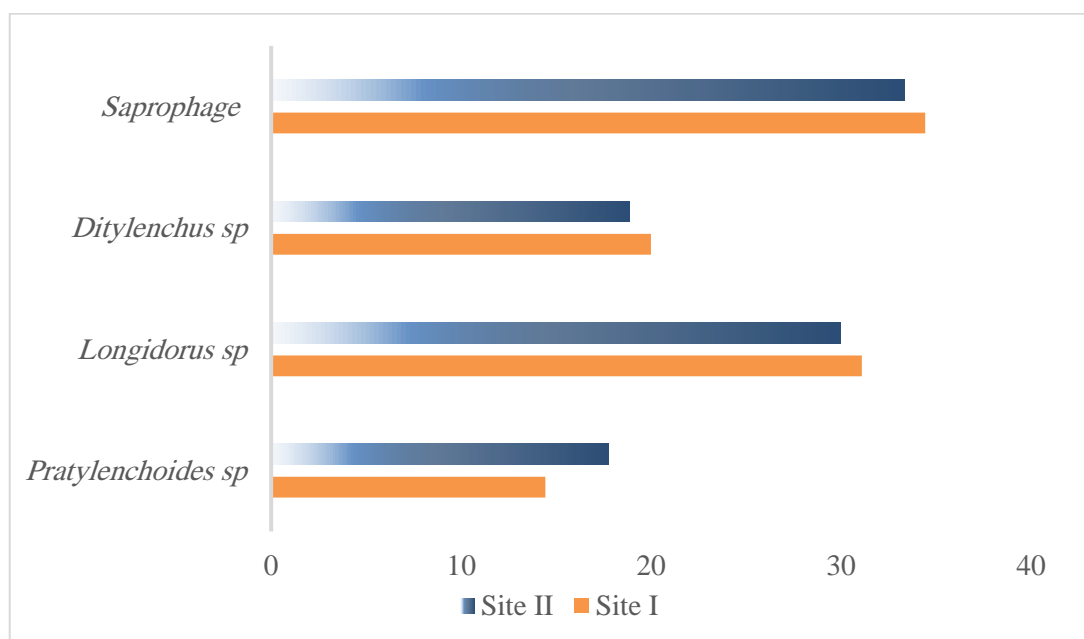


Fig. 52 – Résultats en moyenne de la présence de nématodes filiformes du sol dans les deux sites au stade maturation.

VI.2.10.4. Matrice de corrélation des principaux genres trouvés dans le sol

Les résultats de corrélations sont consignés dans le tableau n° 40.

Tableau 40. Matrice de corrélation obtenue à partir des genres de nématodes trouvés au stade maturation dans le sol de la variété Waha de blé dur.

	Variable	<i>Pratylenchus</i>	<i>Longidorus</i>	<i>Ditylenchus</i>	<i>Saprophages</i>
Site I	<i>Pratylenchus</i>	1			
	<i>Longidorus</i>	ns	1		
	<i>Ditylenchus</i>	-0.840**	ns	1	
	<i>Saprophages</i>		ns	ns	1
Site I	<i>Pratylenchus</i>	1			
	<i>Longidorus</i>	ns	1		
	<i>Ditylenchus</i>	ns	ns	1	
	<i>Saprophages</i>	ns	ns	ns	1

Pour les résultats de l'identification des nématodes filiformes trouvés dans le sol des deux sites au stade maturation, la matrice de corrélation dans le premier site montre l'existence des corrélations négatives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) trouvés entre les nématodes filiformes du genre *Pratylenchoides* et les nématodes filiformes du genre *Ditylenchus* (-0,840). Tandis qu'au deuxième site, la matrice de corrélation ne montre aucune différence significative entre les différents genres de nématodes filiformes (annexe, tableau 21 et 22).

VI.3. Campagne 2017-2018 (2^{ème} année)

VI.3.1. Analyse nématologique

L'infestation du sol par les nématodes phytoparasites a été étudiée en deuxième année (campagne 2017/2018) sur un essai agricole. Cet essai agricole est représentatif de la production du pois chiche, variété « Flipp » avec utilisation de différentes pratiques agricoles incluant la rotation culturale, l'apport de matières organiques et une fertilisation minérale. L'objectif était de déterminer l'effet de ces pratiques sur le taux d'infestation du sol par les nématodes dans deux stades végétatifs, et après un précédent cultural « blé dur ».

VI.3.1.1. Importance de la densité de population des nématodes à kystes trouvés chez la variété Flipp du pois chiche.

Les résultats d'analyse nématologique des échantillons de sol prélevés durant la deuxième année de notre étude au cours des deux stades végétatifs sont consignés dans le tableau 41 et 42 suivant

Tableau 41. Importance du nombre de nématodes à kystes trouvés chez la variété Flipp du pois chiche dans le site I.

Stade	Rép	Moy du poids d'échantillon (g)	Moy K.TH	Moy K.VH	Moy K.PH	% K.V	% K.P	Degré Moy d'infestation (L ₂ /g de sol)
Levée	R1	300	07	07	00	100	00	00
Maturation		300	35	28	07	80.00	20.0	5.32
Levée	R2	300	11	10	01	90.90	9.09	0.73
Maturation		300	32	27	05	84.37	15.62	3.49
Levée	R3	300	05	04	01	80.00	20.00	0.86
Maturation		300	25	16	09	64.00	36.00	7.61
Levée	R4	300	03	03	00	100	00	00
Maturation		300	19	15	04	78.94	21.05	2.65
Levée	R5	300	10	10	00	100	00	00
Maturation		300	22	18	04	81.81	18.18	2.89
Levée	R6	300	14	13	01	92.85	07.14	1.62
Maturation		300	33	27	06	81.81	18.18	4.25
Total		5.4kg	216	181	38	83.29	16.7	29.01

Tableau 42. Importance du nombre de nématodes à kystes trouvés chez la variété Flipp du pois chiche dans le site II.

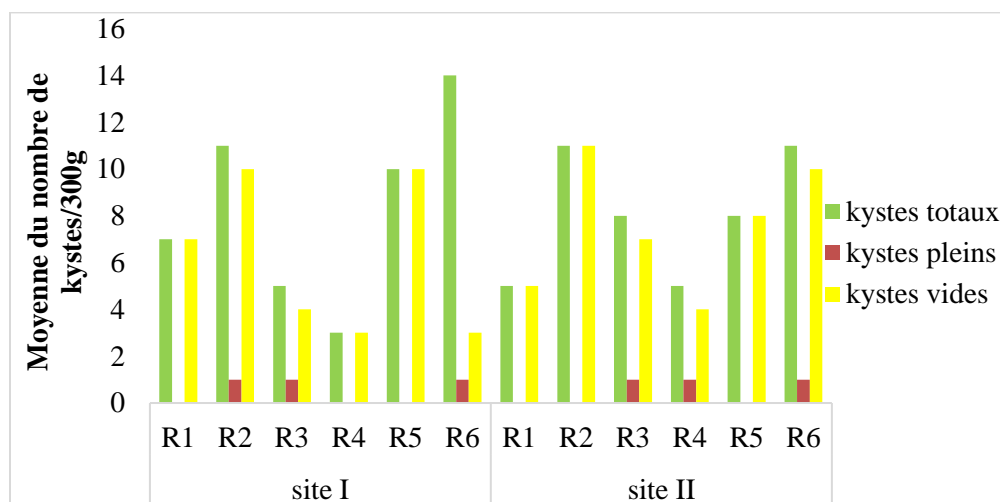
Stade	Rép	Moy du poids d'échantillon (g)	Moy K.TH	Moy K.VH	Moy K.PH	% K.V	% K.P	Degré Moy d'infestation (L ₂ /g de sol)
Levée	R1	300	05	05	00	100	00	00
Maturation		300	23	20	03	86.95	13.04	2.89
Levée	R2	300	11	11	00	100	00	00
Maturation		300	22	19	03	86.63	13.63	2.52
Levée	R3	300	08	07	01	87.5	12.5	1.53
Maturation		300	19	14	05	73.68	26.31	4.02
Levée	R4	300	05	04	01	80.00	20.00	1.12
Maturation		300	31	27	04	87.09	12.90	2.08
Levée	R5	300	08	08	00	100	00	00
Maturation		300	28	25	03	89.82	10.71	3.82
Levée	R6	300	11	10	01	90.90	9.09	0.88
Maturation		300	21	18	03	85.71	14.28	3.05
Total		5.4kg	192	168	24	80.69	19.31	21.91

Les résultats d'analyse nématologique des échantillons du sol prélevés durant le stade levée et maturation montrent que le degré d'infestation varie d'un site à un autre et d'un endroit à l'autre.

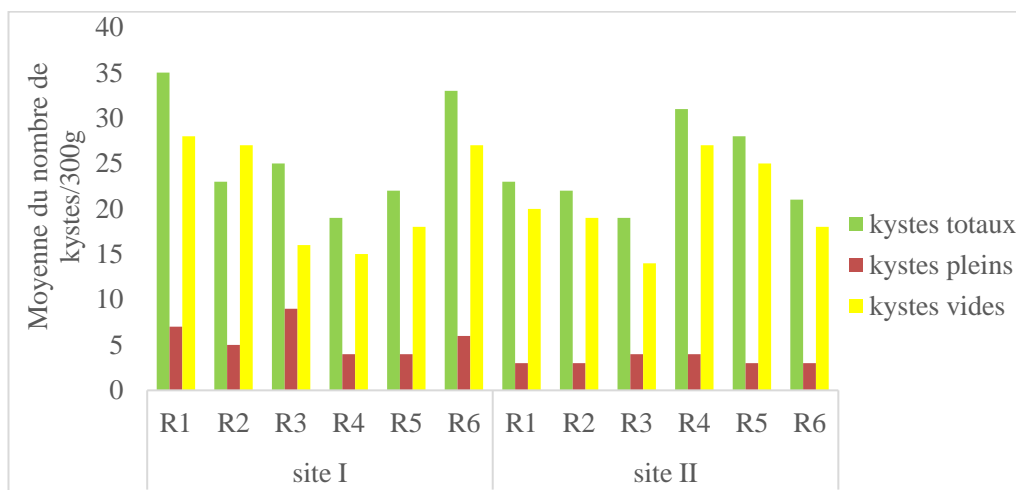
➤ **Au stade levé** : les kystes vides d'*Heterodera* sont abondants par rapport à ceux qui sont pleins. Ils varient de 03 à 14 kystes/300g de sol respectivement pour la R4 et R6 du premier site où la moyenne du nombre total des kystes dans la totalité de la parcelle est de 50 kystes/1.8kg dans le SI et 47 kystes/1.8kg dans le SII, contre seulement 03 kystes pleins/1.8kg enregistrés dans les deux sites. De même, il est signalé que la plupart des

points prospectés sont indemnes et dépourvus de ce parasite (absence des kystes pleins dans les échantillons prélevés).

➤ **Au stade maturation** : le premier site a enregistré le plus grand nombre en kyste vide par rapport au deuxième avec 138 kystes/1.8kg de sol sec au SI et 124 kystes au SII. Pour les kystes pleins, le plus grand nombre est trouvé dans la R3 du SI avec 09 kystes/300g de sol et un degré d'infestation de 7.61. Concernant la moyenne totale du nombre des kystes, nous avons enregistré un nombre important dans le premier site avec 198 kystes/1.8kg de sol et 177 kystes au SII où le nombre moyen des kystes pleins atteint les 28 kystes dans le SI et 20 kystes/1.8kg de sol sec dans le SII.



a-stade levée



b- stade maturation

Fig. 53. Variations de la densité de population des deux sites en fonction des stades végétatifs du pois chiche.

Il apparaît clairement au stade levé que le faible pourcentage de kystes pleins est enregistré dans le deuxième site entre 7.14 et 20 %. Tandis que les kystes vides atteignent les 100 %. Au stade maturation le pourcentage des kystes vides (allant de 46 à 73.68 %) est toujours supérieur à celui des kystes pleins (variant entre 10.7 et 36 %).

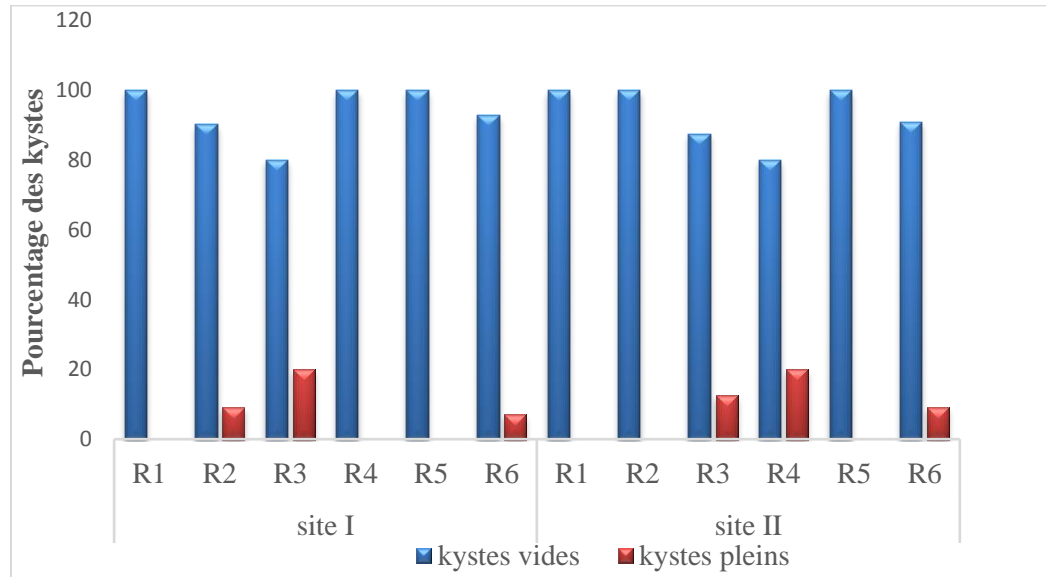


Fig. 54. Résultats en moyenne des kystes vides et pleins d' *Heterodera* en fonction des points prospectés (stade levé).

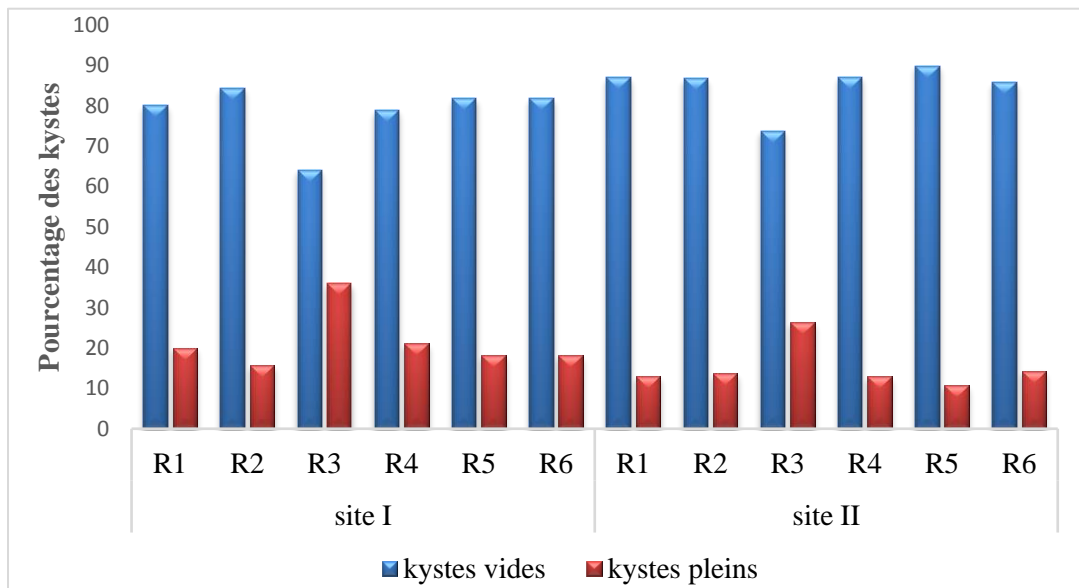


Fig. 55. Résultats en moyenne des kystes vides et pleins d' *Heterodera* en fonction des points prospectés (stade maturation).

VI.3.1.2. Répartition du taux d'infestation des populations d'*Heterodera sp.* dans la culture du pois chiche

Les degrés d'infestation ont été calculés seulement pour les deux stades végétatifs (levée et maturation). Ils sont variables d'une répétition à une autre. Ils ne dépassent pas le seuil de nuisibilité qui est fixé à 10 L₂/g de sol par Mugniéry (1975). En effet, ils varient de 0.86 à 7.61 L₂/g de sol dans le premier site, et 0.88 à 4.02 dans le deuxième site. Ces derniers sont représentés dans la figure (57).

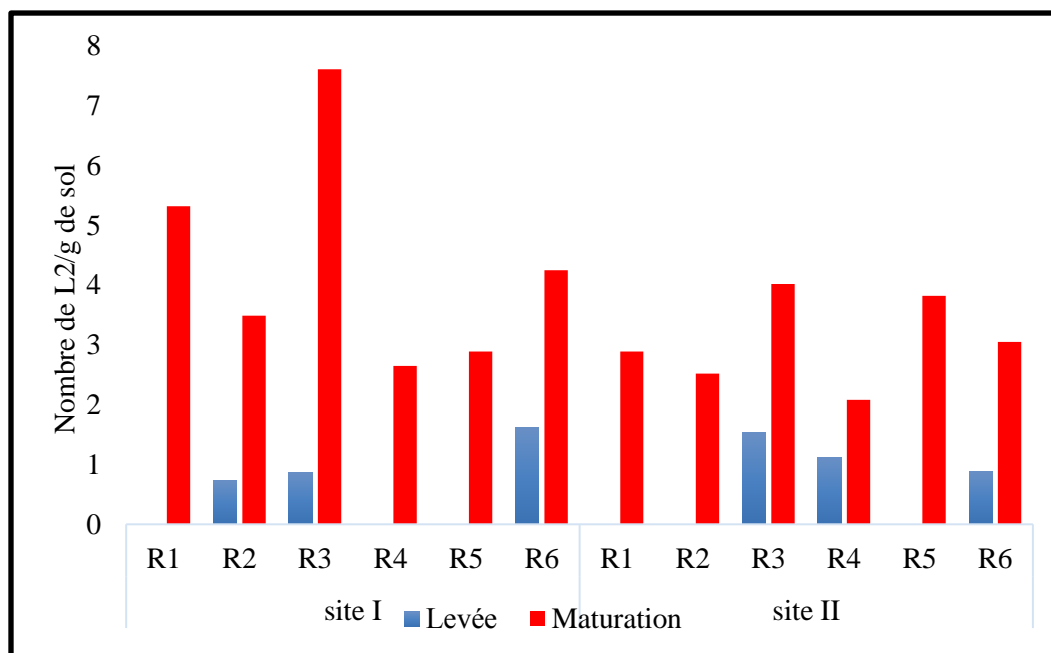


Fig. 56 - Moyenne des degrés d'infestation des *Heterodera* en fonction des sites étudiés (stade levée et maturation).

Nous notons une variation graduelle des moyennes des infestations calculées entre les sites et les répétitions, exception pour les répétitions R1 et R6 du SI qui ont présenté des densités voisines de l'ordre de 2.29 L₂/g de sol. Les écarts-types calculés ne sont pas élevés, allant de 0.67 à 1.85 respectivement au stade levée du premier site et stade maturation, ce qui met en évidence la variabilité de la distribution et du comportement de la population de ce parasite sur la culture rotation (Pois chiche).

VI.3.2. Effet de la période végétative du pois chiche sur la multiplication des populations *Heterodera* spp.

VI.3.2.1. Evaluation du taux de multiplication

Le suivi de l'évolution des populations d'*Heterodera* spp. dans les sites prospectés durant les deux stades végétatifs a pour but d'évaluer l'effet de la rotation sur leurs taux de multiplication. Ce dernier est calculé selon la densité (kystes pleins/300 g de sol) de la population finale par rapport à la densité de la population initiale (tab. 43, fig. 58).

Tableau 43. Densité de population initiale, finale et le taux de multiplication des *Heterodera* spp. dans les deux sites.

Site	Densité de la population initiale (D _{pi})	Densité de la population finale (D _{pf})	Taux de multiplication (D _{pf} /D _{pi})
Site I	0.5	5.83	11.66
Site II	0.66	3.5	5.33

Nous avons enregistré une différence au niveau de la population initiale, finale et taux de multiplication des *Heterodera* qui correspond à la période levée et maturation par rapport à la première année d'étude (culture de blé dur).

Le taux de multiplication de ce nématode chez les deux sites étudiés nous a permis de constater qu'il est plus important chez le SI (11.66). Par contre, il est moyen chez le SII (5.33). Cela veut dire que le premier site est un endroit favorable pour le développement et la multiplication de ce parasite. Nous pouvons confirmer ces résultats par l'analyse de la variance pour chercher les valeurs significatives.

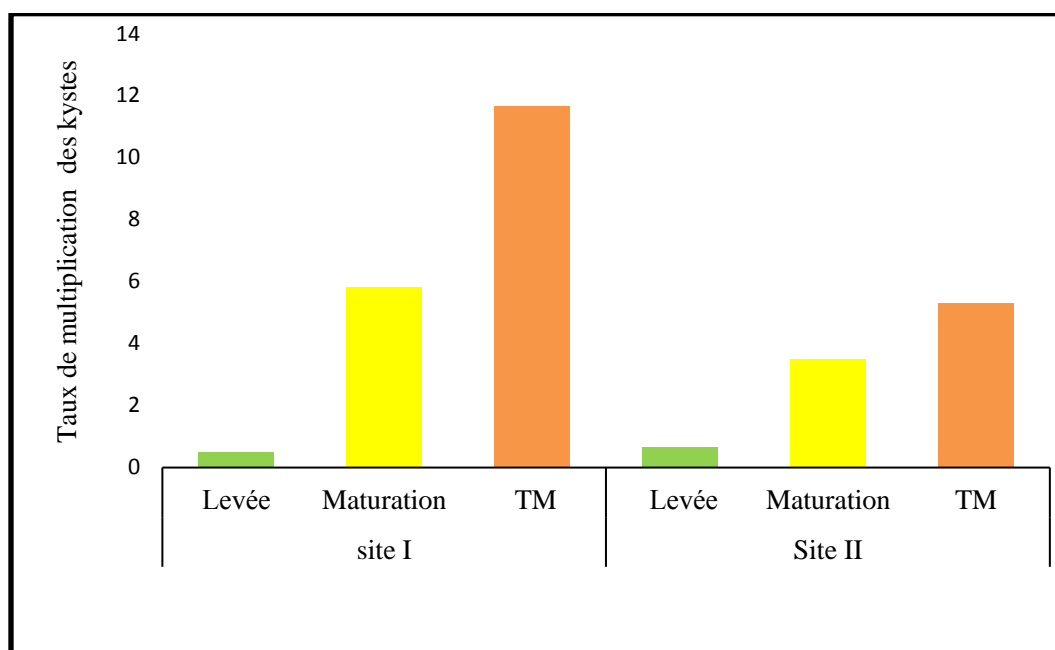


Fig. 57 - Comparaison du taux d'infestation des sites étudiés par les populations d'*Heterodera* spp. entre la période levée et maturation.

VI.3.3. Exploitation des résultats d'analyse nématologique dans le stade levée et maturation du pois chiche.

VI.3.3.1. Analyse de la variance des variables étudiées dans les deux sites

Les variables étudiées au stade levée concernant le nombre moyen de nématodes à kystes, pleins, vides et totaux, montrent des différences non significatives dans les deux sites expérimentaux au seuil de 5% avec des probabilités entre 0,3791 et de 1,0000 respectivement pour les kystes pleins.

L'analyse de la variance des variables étudiées montre qu'il n'y a pas une différence significative des moyennes du nombre de kystes vides et totaux dans les deux sites. Par contre, la probabilité $p=0,0396$ est supérieure à 0,05, ce qui implique qu'il y a une différence significative dans la période maturation des deux sites.

Test de Tukey

La comparaison des moyennes deux à deux à l'aide de test de Tukey pour la variable des kystes pleins sur la base de la PPAS = 1.9633 a abouti aux groupes homogènes suivants :

Site Moyenne groupes homogènes

Site1 5.8333 A

Site2 3.3333 B

Concernant le nombre moyen de nématodes à kyste pleins d'*Heterodera* dans les deux sites, le test montre la présence de 02 groupes homogène (A et B).

VI.3.3.2. Relation entre le degré d'infestation et le nombre des kystes pleins

La courbe de régression des effectifs de larves L₂/g de sol (stade infectieuse) de nématode à kyste du genre *Heterodera* en fonction du nombre des kystes pleins est montrée dans la figure 58.

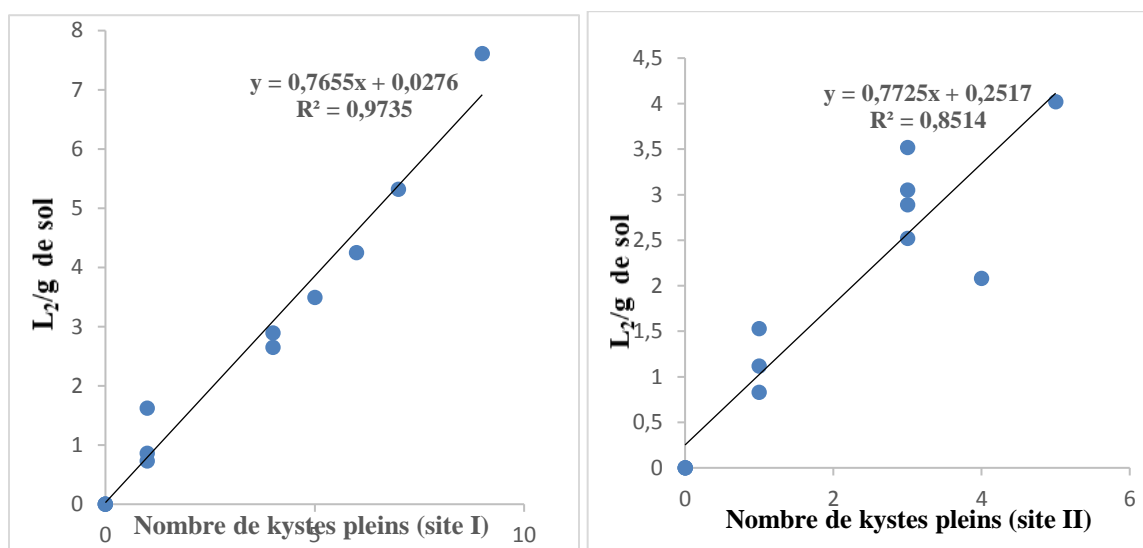


Fig. 58 - Régression du nombre moyen de L₂/g de sol en fonction du nombre de kyste pleins trouvés dans le sol en fonction des stades végétatifs du pois chiche.

L'analyse de la régression linéaire montre que le nombre de L₂/g de sol et le nombre des kystes pleins sont positivement corrélés avec un coefficient de détermination moyenne de ($R^2=0,97$) et 85% de la variation dans le deuxième site.

VI.3.4. Mode d'évolution du nombre moyen de nématodes à kystes trouvés dans le sol

L'analyse nématologique concernant l'évolution du nombre de nématodes à kystes trouvés dans le sol en fonction du nombre de jours de prélèvement est consignée dans le tableau n° 44.

Tableau 44. Résultats d'évolution du nombre de nématodes à kystes totaux, vides et pleins dans le sol des deux sites en fonction des dates de prélèvement.

t (jours)	Moy de NKT/300 g de sol (Site I)	Moy de NKT/300 g de sol (Site II)	Moy de NKV/300 g de sol (Site I)	Moy de NKV/300 g de sol (Site II)	Moy de NKP/300 g de (Site I)	Moy de NKP/300 g de sol (Site II)	Moy d'infestation de (L ₂ /g de sol) (Site I)	Moy d'infestation de (L ₂ /g de sol) (Site II)
49	8.3	8.00	6.16	7.5	0,50	0,66	0.53	0.60
169	26.16	24.00	21.83	20.5	5.83	3.33	4.63	3.06

En ce qui concerne le nombre moyen de nématodes à kystes totaux, vides et pleins dans 300g de sol sec, nous avons enregistré une augmentation de la densité de population de nématodes à kystes qui atteint un nombre moyen de 26 kystes dans le jour 169 du premier site.

En parallèle, le nombre moyen de nématodes à kystes vides reste élevé par rapport à celui de kystes pleins. Il atteint 20 kystes vides/300 g de sol sec respectivement pour le site I et II. Tandis que les kystes pleins trouvés dans chaque prélèvement ont connu aussi une augmentation. Il débute de 0.50 dans le site I et 0.66 dans le site II, et atteint 5.83 et 33.33 respectivement dans le deuxième site et au 169^{ème} jour de prélèvement. Cela explique la présence des variables qui ont eu une influence sur la multiplication de la population d'*Heterodera* spp. en fonction du temps.

Le degré d'infestation en (L₂/g de sol) a connu une augmentation moyenne de 4.10 dans le dernier jour de prélèvement du sol. Tandis que, le degré d'infestation de nématodes à kystes dans le deuxième site et dans la dernière date de prélèvement atteint un nombre

moyen de 3.06, ce qui explique que les périodes végétatives ont influencé sur le taux de multiplication de nématodes et augmenté leur capacité d'attaque.

VI.3.5. Effet d' *Heterodera* sp sur les paramètres de croissance de la variété Flipp

Les paramètres de croissance qui ont été pris en considération sont représentés par les paramètres morphologiques qui sont ; la longueur moyenne de racine, Hauteur de la plante et le nombre moyen de plants par m². Concernant les composantes du rendement, on cite : le nombre moyen de talles/m², le nombre moyen de grains/plante et le rendement moyen.

Les résultats des paramètres de croissance et composantes du rendement de la variété Flipp du pois chiche sont représentés dans le tableau 45.

Tableau 45. Valeurs moyennes des paramètres morphologiques et composantes du rendement pris en considération.

Site	Répétitions	Longueur moyenne de racine (cm)	Hauteur moyenne de la plante (cm)	Nombre moyen de plants/m ²	Nombre moyen des talles/m ²	Nombre moyen de grains/plante	Rendement moyen (Q/ha)
Site I	R1	13,05	45.12	24.5	87.02	42.55	5.85
	R2	12,86	35.2	21.66	62.45	28.83	3.05
	R3	13,41	54.2	18.96	67.09	37.12	6.21
	R4	14,51	47.14	23.77	66.83	34.15	5.32
	R5	12,76	45.6	19.85	67.83	29.2	3.49
	R6	12,89	51.2	14.05	68.58	19.85	3.25
Moyenne		13,24	50.91	22.13	69.97	31.95	4.52
Site II	R1	14,66	49.62	22.15	66.17	42.32	5.05
	R2	18,73	56.21	22.25	88.15	33.6	4.18
	R3	13,24	56.67	24.18	72.17	39.41	6.61
	R4	15,68	54.14	18.51	72.2	40.31	5.85
	R5	14,25	54.01	26.25	72.45	33.46	4.96
	R6	15,16	55.73	20.09	61.77	38.79	6.41
Moyenne		15,28	54.39	22.23	72.14	37.98	5.51

Concernant la longueur moyenne de la racine, la répétition R1 du deuxième site a enregistré une longueur de 18.73cm au stade maturation, et la plus faible longueur a été trouvée chez la R5 du premier site avec une longueur de 12.76 cm. Parallèlement, la hauteur moyenne de la tige, le nombre moyen de plants par mètre carré et le nombre de talles/m² sont presque égales avec une légère variation entre les sites de culture. Le nombre moyen de grains/plante est grand dans le deuxième site avec 38 grains/plante contre 31 grains dans le SI. Le rendement a enregistré une différence d'environ 600kg dans le SII.

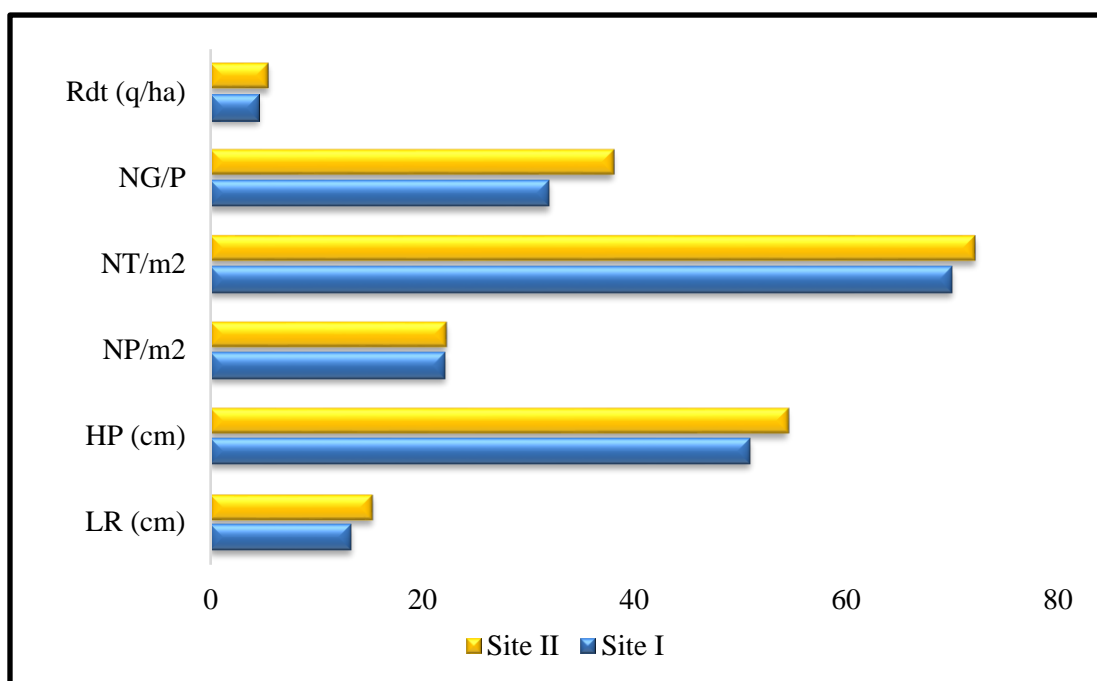


Fig. 59 - Les paramètres morphologiques et composantes du rendement considérés en fonction des sites.

La probabilité calculée pour la longueur des racines présente aussi un effet très hautement significatif ($p=0.0396 < 0,05$) qui peut être influencée par la texture du sol, le degré d'infestation et d'autres facteurs liés aux conditions climatiques (annexe II, tab. 18).

Test de Tukey

La comparaison des moyennes deux à deux pour la variable de longueur des racines sur la base de la PPAS = 3.3523 a abouti aux groupes homogènes suivants :

Site Moyenne groupes homogènes

Site 2	16.127	A
Site1	12.522	B

Le test indique la formation de deux groupes distincts ; groupe A dans SII et groupe B dans SI.

VI.3.5.1. Analyse de la matrice de corrélations

L'exploitation par une analyse en composantes principales des variables liées à la plante hôte et au parasite, a permis de mettre en évidence des corrélations entre les variables en fonction des résultats obtenus dans deux stades végétatifs (levée et maturation). Les corrélations existantes entre les variables ou paramètres ont été mesurées par le calcul du coefficient de Pearson.

Tableau 46. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade levée dans les deux sites.

Variable	NKP	NKV	DINF	% Caco3	CE	%CO	%MO	pH	LR	NP/M ²
NKP	1									
NKV	ns	1								
DINF	0,919**	ns	1							
% Caco3	ns	ns	ns	1						
CE	ns	ns	ns	0,817**	1					
%CO	ns	ns	ns	-0,877**	-0,578*	1				
%MO	ns	ns	ns	-0,875**	ns	1,00**	1			
pH	ns	ns	ns	ns	0,579*	ns	ns	1		
LR	ns	ns	ns	ns	ns	-0,598*	-0,596*	0,651*	1	
NP/M ²	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1

La matrice de corrélation des principaux paramètres étudiés au stade levée de la variété Flipp du pois chiche dans les deux sites expérimentaux montre des corrélations négatives non significatives avec la plupart des autres paramètres où la différence est significative au seuil ($p > 0,05$) (entre la longueur des racines, le %CO et %Mo) et une corrélation positive (entre la longueur des racines et le pH du sol).

D'autres corrélations positives et très hautement significatives ont été dégagées au niveau (0.01), tel que le %CO avec %MO, le nombre de kystes pleins avec le DINF (0,919) ; entre le %Caco3 avec la conductivité électrique (0.817), et des corrélations négatives entre le %Caco3 avec le %Co et %MO. (Annexe, tableaux 25).

Tableau 47. Matrice de corrélation obtenue à partir des principaux paramètres étudiés au stade maturation dans les deux sites.

Variable	NKP	NKV	DINF	% Caco3	CE	%CO	%MO	pH	LR	NT/M ²	RDT
NKP	1										
NKV	ns	1									
DINF	0,919**	ns	1								
% Caco3	ns	ns	ns	1							
CE	ns	ns	ns	0,817**	1						
%CO	ns	ns	ns	-0,877**	ns	1					
%MO	ns	ns	ns	-0,875**	0,579*	1,000**	1				
pH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1			
LR	ns	ns	ns	ns	ns	-0,598*	-0,596*	0,651*	1		
NT/M²	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	
RDT	ns	ns	ns	ns	-0,578*	ns	ns	ns	ns	ns	1

Pour la période maturation, on distingue une corrélation positive et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) entre le degré d'infestation des kystes et le nombre de NKP (0,919), et une corrélation négative entre le rendement et la conductivité électrique (-0,578) (annexe, tableaux 26).

Au cours du suivi de notre essai, après le semis et au stade levée, nous avons remarqué une hétérogénéité dans le développement des plantes entre les deux sites expérimentaux (Ph. 16).



Photo. 16. Variété Flipp du pois chiche (Original).

Les variables liées à la capacité de production de la variété sont influencées par les paramètres édaphiques et la densité d'attaque des nématodes. Dans ce qui suit, nous recherchons des corrélations qui peuvent ressortir entre les principaux variables étudiées. Dans ce cas-là, l'analyse de la corrélation est avérée intéressante afin de tirer plus d'information sur les paramètres étudiés.

VI.4. Discussion générale

VI.4.1. Les nématodes à kyste du genre *Heterodera* spp.

Quels que soient les milieux (agro et écosystèmes), les nématodes phytoparasites se présentent en communautés plus ou moins diversifiées selon le degré d'anthropisation du milieu. L'évolution spécifique et fonctionnelle des populations parasites des cultures, des nématodes phytoparasites en particulier, et leur pullulation, sont une conséquence de l'intensification de l'agriculture de plus en plus marquée des milieux (Cadet et Floret, 1999).

Les nématodes à kystes (*Heterodera* spp.) sont un groupe important de nématodes phytoparasites qui attaquent de nombreuses espèces de cultures et provoquent de graves pertes de rendement dans les principales cultures vivrières (Jones *et al.*, 2013).

Les nématodes du genre *Heterodera* sont présents dans toutes les grandes zones de production céréalière du bassin méditerranéen (Dababat *et al.*, 2015). Comme en Europe, en Asie ou en Australie, notre expérimentation en conditions naturelles démontre que le nématode à kyste des céréales *H. avenae* cause des déprédations importantes à la culture du blé dur en Algérie. Selon Namouchi *et al.* (2009), les diminutions de rendement consécutives aux infestations sont quasiment équivalentes quel que soit les conditions agro climatiques des sites expérimentaux. Cependant, l'étude d'Imren *et al.*, (2014) menée dans la province d'Adana (Turquie) sous les conditions naturelles du champ a montré que les pertes de rendement causées par *H. avenae* sur différentes variétés de blé dur varient entre 4,3 à 25,78%.

Les nématodes sont des bio-indicateurs pertinents pour étudier l'effet de pratiques agricoles sur le fonctionnement biologique du sol, Cette méta-analyse évalue l'effet de la rotation blé dur-pois chiche sur le développement et la distribution des nématodes phytoparasites.

La légumineuse fixe une certaine quantité d'azote dans l'atmosphère. Elle concentre généralement plus d'azote que les plantes non fixatrices d'azote. Dans les systèmes de culture, les résidus de légumineuses enrichissent le sol en azote. Par rapport à une 89 monoculture de céréale, une rotation culturale comportant une légumineuse fixatrice d'azote, enrichit peut être

mieux le sol en azote par les résidus de la légumineuse et les autres cultures de la rotation peuvent bénéficier de cet azote par la minéralisation des résidus (Peaples *et al.*, 1995, Chalk, 1998).

Les baisses de la production du blé résultent de l'altération des paramètres du rendement (nombre d'épis, nombre de grains/épi, poids de 1000 grains) qui sont fortement corrélées aux densités initiales du nématode. Malgré l'utilisation d'un nombre limité et inégale de kystes (conditions naturelles), dans chaque répétition, on a trouvé une variation du nombre de kystes pleins entre la période levée de la culture et maturation pour chaque site testé. Le nombre moyen de kystes s'étage de 0.5 à 8.5 kystes/300g de sol pour un sol argileux limoneux avec une différence significative, et de 0.83 à 6,33 kystes/300g de sol respectifs pour le sol argileux. Les densités initiales croissantes du nématode occasionnent en conséquence des baisses croissantes de rendement de 20, 50 et 80% pour atteindre 85 et même 96% pour les densités les plus élevées. Ces diminutions sont du même ordre que celle observées préalablement en Espagne (Romero *et al.*, 1991), au Maroc (Rammah, 1994) et en Arabie Saoudite (Ibrahim *et al.*, 1999). Cependant, l'augmentation des effectifs de kystes pleins chez les deux sites cultivés par la variété Waha de blé dur pourraient s'expliquer par leurs sensibilités à ces parasites. De même, on a constaté que la variation est faible chez le premier site que d'un sol argileux calcaire.

L'augmentation de l'effectif de kystes chez le premier site, pourrait traduire sa forte capacité de multiplier les larves de ce parasite et se transformer en femelles. En Algérie, la sensibilité de celle-ci n'a pas été étudiée auparavant. Mais l'effet de la variété résistance sur les populations de nématode du genre *Heterodera* a été démontré par plusieurs auteurs.

D'après (Caubel *et al.*, 1980), la probabilité des dégâts est faible lorsque les céréales reviennent 2 années sur 5, alors que les dégâts sont à craindre quand elles sont cultivées une année sur deux. Par ailleurs, il a été admis que les dommages sont à redouter lorsque la fréquence des céréales dépasse le seuil de 50% de la totalité de la culture. Selon (Speijer et De Waele 1997), la sélection de plantes-hôtes résistantes représente une alternative prometteuse dans la lutte contre les nématodes.

L'analyse physico-chimique du sol permet de déterminer la qualité et les propriétés du sol des deux sites expérimentaux dont les résultats montrent en général une texture argilo-limoneuse (site I), et argileux calcaire (site II), qui influence l'imperméabilité et l'humidité du sol, ainsi l'augmentation de sels même le pH est légèrement alcalin (entre 7.82-8.13).

Les sols algériens offrent des caractéristiques propices au développement des nématodes. Parmi ces facteurs, la texture, le pH et la matière organique (Hammache, 2010).

Selon Yepsen (1984), les nématodes à kyste n'éclosent pas bien dans les sols très acides (pH= 4) ou les sols alcalins (pH= 8). Ils préfèrent les sols avec un pH voisin de la neutralité de 6.

En Australie, l'utilisation d'espèces ou variétés non hôtes ou résistantes a été démontrée, puisque les densités d'*H. avenae* peuvent être diminuées de 70 à 80% en une seule culture annuelle de plantes non hôtes (autres que céréales) (Andersson, 1982). Cela explique l'intérêt d'un autre cultivar annuelle placée entre deux cultures extensives de blé pour limiter l'impact de ce nématode dans notre cas le précédent cultural c'est les fourrages.

La succession des céréales sur les mêmes parcelles et les conditions climatiques favorables ne font qu'augmenter le potentiel infectieux des sols (Labdelli *et al.*, 2017 ; Ritter, 1982) ; cela peut expliquer que la rotation blé dur-pois chiche offre une meilleure résistance des racines aux nématodes par rapport à la monoculture. Le principe de base de rotation qui est de séparer le ravageur de sa plante-hôte dans l'espace et dans le temps pour limiter des actions néfastes du ravageur est confirmé par nos résultats. Pour Stoll (2002), l'introduction par la rotation de plantes non-hôtes à un ravageur permet d'interrompre le cycle biologique de celui-ci et réduit la probabilité d'infestation des cultures suivantes. L'influence de la rotation pour le contrôle des nématodes a été démontrée dans de nombreux travaux antérieurs (Cadet, 1998 ; Bélair, 2005 ; Talwana *et al.*, 2008 ; Bado *et al.*, 2011). En particulier, il a été démontré que la culture du pois chiche en rotation comportant une légumineuse était moins infectée par les nématodes (Bado, 2002). La rotation comportant une légumineuse mobilise plus d'azote pour la culture suivante. Cette mobilisation d'azote se fait par le processus de la fixation symbiotique qui permet aux légumineuses de mobiliser plus d'azote que les autres cultures. L'azote apporté à la plante se retrouve dans la zone du chevelu racinaire, améliore la possibilité d'absorption des racines et empêche les nématodes de pénétrer dans la plante (Sarah, 1991 ; Mateille, 1994 ; Dmowska *et al.*, 1995).

Les degrés d'infestation enregistrés durant les quatre premiers stades végétatifs et dans les deux sites restent inférieurs au seuil tolérable défini par Rivoal *et al.*, (1983), (Rivoal, 1986), et (Mokabli, 2002), à savoir 10 L2/g de sol, sauf dans le dernier stade de développement de la variété Waha de blé dur où nous avons enregistré des valeurs qui dépassent le seuil tolérable.

Tandis que la variété Flipp du pois chiche n'a pas atteint le seuil de nuisibilité estimée auparavant.

Les résultats obtenus en L2/g de sol sont plus satisfaisants par rapport à ceux exprimés en densité (nombre de kystes/100g de sol), car ils révèlent en fait l'état réel de l'infestation de la parcelle par les populations d'*H. avenae* dans le sol, sachant que les kystes sont des organismes inertes qui se détruisent lentement dans le sol (Rivoal, 1986). Le seuil de nuisibilité du parasite se situe à des niveaux de densité moyennement faible (de l'ordre de 1 œuf ou larve/g de sol) qui sont comparables à ceux observés en Australie (Meagher et Brown, 1974) ou en Europe (Andersson, 1982).

Il semble que le premier site est le plus multiplicateur de ces nématodes phytophages dans les deux années d'études. Par contre le deuxième site est moins sensible à ce parasite. Il existe une grande différence du taux de multiplication du complexe *Heterodera* entre les deux sites expérimentaux. Il est de l'ordre de 14.32 et 7.62 respectivement pour la campagne (2016-2017), et nous avons enregistré une diminution entre 11.66 et 5.3 dans la campagne (2017-2018). Ces différences pourraient avoir plusieurs explications. Rivoal *et al.* (2001) ont démontré entre des populations de France et de l'ouest de l'Asie des différences de fitness qui correspondent à la capacité des larves à se transformer en femelles. Le type de sol et la pratique culturale jouent aussi un rôle déterminant sur le développement et la multiplication d'*Heterodera* spp. (Tard *et al.*, 2005). Les sols légers ou à structure grossière de type sableux ou sablo-limoneux sont réputés pour être plus favorables à la multiplication des nématodes en assurant une meilleure aération et des déplacements plus faciles que dans les sols limoneux de texture fine, à faible porosité (Jones *et al.*, 1969; Workneh *et al.*, 1999).

Généralement, la population finale P_f augmente avec une croissance de la population initiale (P_i) même si le taux de multiplication intrinsèque R_f diminue (Magi, 1989).

Les études de dynamique des populations ont confirmé que la multiplication d'*Heterodera* spp. est inversement proportionnelle aux densités initiales (P_i) (Rivoal et Sarr, 1987). Les taux de multiplication sont les plus élevés quand les densités initiales sont les plus faibles. Inversement, ces taux diminuent quand les densités initiales augmentent pour atteindre l'unité aux valeurs de saturation (effet plafond) du nématode dans le sol. De très fortes densités initiales peuvent se traduire par des réductions de population à cause de la compétition entre les individus pour les sites nourriciers ou simplement à cause du mauvais état végétatif des plantes hôtes, voire de leur destruction (Rivoal et Sarr, 1987 ; Rivoal et Cook, 1993). D'après

(Fisher et Hancock, 1991) ou en France (Rivoal et Sarr, 1987) pour des densités initiales comprises entre 0 et 10 œufs/g de sol, nous avons observé des taux de multiplication de 5 à 15 qui sont comparables à ceux observés en Australie.

Cette expérimentation montre également une augmentation du nombre de kystes vides avec une différence très hautement significative dans la première année de notre étude. Il passe de 144 au stade levée à 465 au stade maturation dans le site I et de 162 au stade levée à 420 kystes/300g de sol au stade maturation dans le site II, et une différence non significative dans la deuxième année pour la culture du pois chiche. Ceci s'explique par l'éclosion des kystes pleins sous l'influence des exsudats racinaires de la plante hôte qui est le blé dur et les conditions de milieu (température et humidité). D'après (Tard *et al.*, 2005), le type de sol joue aussi un rôle déterminant sur le développement et la multiplication d' *H. avenae*.

L'infestation de la culture de blé dur et pois chiche par les populations d'*Heterodera* spp. est liée aux différents facteurs, parmi ces facteurs on cite les conditions pédo-climatiques, le système de culture et la variété utilisée relative à notre essai, on remarque que presque toutes les conditions sont semblables pour la totalité de la parcelle, sauf le type de sol. Ce dernier pourrait être responsable de l'état d'infestation où nous avons enregistré une diminution dont le nombre de nématodes à kyste pleins et le degré d'infestation dans la deuxième campagne pour atteindre un taux d'infestation de 5.83 dans le site I et 3.5 au stade maturation du site II.

Le suivi du développement des systèmes racinaires a révélé une diminution dans la longueur des racines qui ne dépasse pas les 25cm pour la culture du blé dur et 18cm pour le pois chiche, c'est les résultats obtenus par celle de (Rivoal et Rivière, 1989), qui ont notés que l'infestation par les larves occasionne un développement superficiel du système racinaire du blé qui pénalise la croissance et la production des plantes dans le cas de précipitations insuffisantes. Ils constituent de graves ravageurs des cultures, induisant de profondes altérations de l'anatomie des racines. Ainsi, ils provoquent des retards de croissance, des flétrissements et une sensibilité accrue aux autres agents pathogènes (Laëtitia, 2013).

Selon Djical (2003), le développement des nématodes à kystes du genre *Heterodera* est conditionné par un système racinaire important localisé dans la zone (0-40 cm). La densité est définie comme étant le nombre d'individu par unité d'air. Tandis que La taille des pores contrôle le mouvement des nématodes et la matière organique semble avoir également un effet positif sur l'activité des nématodes par un complexe argileux humique équilibré favorable à toute activité de microorganisme. Les nématodes sont plus abondants dans la couche 0-20cm,

ce qui correspond à la zone des racines ; dans le champ, leur distribution est généralement hétérogène et morcelée (Bélaïr, 2005).

L'effet de nématode sur les paramètres de croissance des deux cultures en deux années successives montre que ce parasite influe sur la qualité de production mesurée par le nombre de grains par épis, le nombre d'épis par mètre carré, le PMG et sur le rendement en qx/ha dans la première année, et sur le nombre de plants/m², nombre de grains/plante et sur le rendement dans la deuxième année.

Dans la présente étude nous avons trouvé un faible nombre moyen d'épis/m² avec une différence hautement significative dans le premier site de la première année. Ces résultats confirment les résultats de Namouchi *et al.*, (2009) qui indiquent que les baisses de la production du blé résultent de l'altération des paramètres du rendement (nombre d'épis, nombre de grains /épi, poids de 1000 grains) qui sont fortement corrélées aux densités initiales du nématode. Ainsi le degré d'infestation ne présente aucun effet sur cette variable. Donc, c'est possible c'est un caractère variétal ou bien lié aux autres facteurs (pédo-climatiques par exemple).

Les résultats des travaux de Dixon (1969) cité par Namouchi *et al.*, (2009) ont de même trouvé qu'en Angleterre, toute augmentation de 10 œufs/g de sol d'*H. avenae* entraîne chez le blé des pertes de 188 kg/ha. Cette réduction est variable selon certains facteurs (la région, la saison, les pratiques culturales inadéquates qui permettent sa pullulation.). Le non-respect de la rotation et le maintien des céréales sur des sols infestés pendant plusieurs années consécutives augmentent le potentiel infectieux des sols, et par conséquent les seuils de nuisibilité sont atteints en une ou deux années seulement (Righi *et al.*, 2014). 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).

Ritter (1982), rapporte que les analyses de routine des sols des régions céréalières révèlent la présence d'*H. avenae* dans 50 % des échantillons examinés, alors que Meagher (1977) et Philis (1997) notent que *H. avenae* et *H. latipons* sont très fréquentes sur l'orge. Concernant *H. latipons*, espèce souvent associée à *H. avenae*, et qui occupent la première place en termes de fréquence, elles sont présentes dans 75 % des répétitions prospectées.

H. filipjevi prend la deuxième place (66.66%) dans le premier site et n'a pas été décelé dans le SII. Tandis que *H. hordicalis* espèce inféodée surtout dans la texture argilo-calcaire, occupe la troisième place en terme de fréquence. Elle a été signalée dans 16 % des échantillons prélevés dans le premier site et 50% dans le SII. C'est une espèce à prendre au sérieux. Elle a été signalée sur le blé et l'avoine en Italie (Lombardo *et al.*, 2011). Des populations ont été retrouvées en Tunisie, en Bulgarie et d'autres pays, en mélange avec *H. avenae*.

L'étude de la variabilité des densités entre deux sites expérimentaux, en deux années d'étude et par le suivi des deux cultures différentes, en conditions naturelles présente des résultats pratiques et utiles pour le développement de la filière céréalière et légumineuse en Algérie. Les deux sites testés sont différents du point de vue texture et comportement contre ces parasites. Cette étude révèle que dissémination des nématodes dépend de plusieurs variables (rotation, matériel végétal, type de sol, stade végétatif par exemple). D'autres études sont aussi nécessaires pour approfondir les connaissances sur le complexe plante-nématode et sol ; elles pourraient conforter ces résultats. De même, il est nécessaire un élargissement des études avec d'autres sites et dans des régions aux climats différents et par l'application des pratiques culturaux.

VI.4.2. Les nématodes phytoparasites des racines et du sol.

Une étude supplémentaire accompagne notre expérimentation dans la première année d'étude de la culture du blé dur, confirment l'importance de la biodiversité de la population des nématodes phytoparasites dit « libres » qui présentent des traits de vie variés et remplissent de nombreuses fonctions dans les réseaux trophiques du sol (Bongers et Bongers, 1998). Comme pour d'autres communautés du sol, les structures des communautés de nématodes sont affectées par les perturbations naturelles ou anthropiques. En réponse à une perturbation, la communauté devient dominée par les nématodes à croissance rapide, bactérivores. Elle est ensuite transformée en une communauté plus diverse, incluant des bactéri- et fongivores à croissance plus lente, et enfin des nématodes omnivores et prédateurs (Yeates *et al.*, 1999 ; Fu *et al.*, 2000).

La granulométrie influence directement les peuplements de nématodes, mais ses effets dépendent des caractéristiques morphologiques (taille) et biologiques (mode de

reproduction) de l'espèce. Par exemple *Pratylenchus zae* (endoparasite migrateur) se rencontre préférentiellement dans les sols argileux alors que *Meloidogyne sp* (endoparasite sédentaire) est plutôt observé dans les sols sableux (Cadet, 1987).

Il existe une différence très hautement significative des nématodes filiformes du sol entre les deux sites. Le nombre moyen d'individus varie de 708.11 individus/300g de sol au stade levée à 1718.10 individus/300g au stade maturation (donc la densité de nématodes phytoparasites varient de 03 à 06 nématodes/dm³). Tandis que dans le sol argileux, le nombre moyen d'individus se situe entre 540 et 1613 individus/300g de sol, se qui signifie une densité entre 02 et 05 nématode/g de sol. La différence entre ces deux sites est presque insignifiante en comparaison avec les résultats obtenus par (Cadet *et al.*, 2003 ; Cadet *et al.*, 2005) qui ont noté que les densités de nématodes phytoparasites et libres varient entre 0 et 2480 nématodes/dm³, selon les espèces, les prélèvements et les sous-parcelles. Ces valeurs sont assez faibles pour un sol cultivé, et très faibles comparées à celles retrouvées dans des sols cultivés ou en jachère de la zone soudano-sahélienne.

Dans notre expérimentation, le taux de la matière organique est un peu important chez le sol argileux limoneux que dans un sol argileux calcaire. Il varie de 0.70 à 1.87%, il est inférieur à 0.45% dans le sol argileux. Selon Sohlenius (1980), les nématodes, en dépit de leur haute densité, contribuent peu à la minéralisation directe de la matière organique. Cependant, ils semblent être d'importants régulateurs de la décomposition de la matière organique et de la libération des éléments nutritifs dans les écosystèmes naturels et dans les agro-systèmes (Sohlenius *et al.*, 1987). Ces résultats sont en désaccords avec plusieurs auteurs qui ont déjà montré que les nématodes ne sont pas favorisés par la présence de matière organique dans les sols de carotte (Bhosle *et al.*, 2006 ; Ferris et Bongers, 2006). Ceci pourrait expliquer les faibles densités retrouvées dans le sol argileux Or, tous les nématodes dénombrés sont des phytophages. Ils ont besoin de la plante pour se développer.

L'analyse des données relatives aux échantillonnages pratiqués sur la même variété de blé dur dans les différentes répétitions et stades de développement nous a fourni des informations concernant la variation spatiale des nématodes associés à cette culture. Ces variations sont expliquées par les modifications de leurs écosystèmes liées aux différentes pratiques culturales, et aux conditions bioclimatiques qui prévalent dans les lieux prospectés, comme cela a été montré par Ritz et Trudgill (1999). Freckman et Ettema

(1993) ont trouvé que la diversité trophique est plutôt affectée par la nature du système de culture : pérenne ou annuelle.

D'après (Norton, 1989 ; Blair *et al.*, 1999 ; Cadet *et al.*, 2004), comme pour les communautés microbiennes, la distribution spatiale de certaines espèces de nématodes est dépendante du type et des caractéristiques abiotiques des sols.

Les nématodes phytoparasites trouvés dans les racines de la variété waha de blé dur dans un sol argileux limoneux au cours des cinq stades végétatifs, sont un peu nombreux que dans un sol argileux calcaire. Ils atteignent un nombre moyen de 30.77 individus/ ½g de racine au stade levée puis la densité de nématodes phytoparasites diminue pour atteindre un nombre moyen de 9.44 individus/ ½ g de racine fraîche, et de 11.55 dans un sol argileux au stade maturation, ce qui révèle que les conditions du sol influencent le développement des végétaux et indirectement les peuplements de nématodes (Schmit, 1973 ; Graham, 1980 ; Cadet, 1987). La physiologie du nématode peut être altérée dans les tissus même de l'hôte. Certains travaux ont montré que les nématodes phytoparasites sont plus abondants dans les sols peu perturbés que dans les sols fréquemment travaillés (Yeates *et al.*, 1991; Korenko et Schmidt, 2006). Ceci est probablement dû à la richesse en plantes et à la présence permanente des systèmes racinaires sur lesquels ils peuvent prélever leurs besoins.

En terme de diversité des nématodes phytoparasites la parcelle de la variété Waha échantillonné a permis l'identification de 03 taxons de nématodes phytoparasites, qui appartiennent à trois ordres (Tylenchida, Dorylaimida et Anguinidae) et d'autres nématodes saprophages. Kerry (2000) a signalé que la majorité de nématodes de la rhizosphère sont des taxons bactériophages représentant plus de 60 % de la communauté des nématodes. Ce groupement est fragile ; d'ailleurs, plusieurs auteurs ont montré que l'analyse de telles associations de nématodes peut être utilisée pour tester la «qualité du sol» ou pour «éprouver» certains traitements particuliers des sols (Yeates, 1994, 1999 ; Ferris *et al.*, 1996; Bongers *et al.*, 1997; Berkelmans *et al.*, 2003).

Cependant, plusieurs études ont montré que la diversité des espèces qui donne à la communauté son caractère pathogène ou non (Cadet *et al.*, 2003 ; Lavelle *et al.*, 2004). Cela peut s'expliquer par une compétition accrue entre espèces, ou par la dominance d'espèces moins pathogènes. Il pourrait donc être possible d'orienter les communautés de nématodes vers des communautés non pathogènes, grâce à des pratiques culturales adaptées. Cependant, il faut aussi prendre en compte que ces changements de communautés

peuvent être longs à s'installer, et que de nombreuses interactions semblent impliquées dans ce processus (Cadet *et al.*, 2003).

Selon Wallace (1973), le genre des nématodes observé et la plante céréalière cultivée qu'ils parasitent, la densité de leur population est plus élevée ou égale dans les sols sableux ou dans les sols argileux, et dans notre expérimentation l'apparition des symptômes de maladies est représentée par des taches trouvées sur la surface des feuilles et avec une hétérogénéité dans le développement des plants. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Berge (1971) qui confirme que les symptômes dus à ces nématodes se manifestent par une importante dépréciation des cultures avec une décoloration du feuillage (rougissement de l'extrémité des feuilles puis jaunissement). On assiste à un nanisme des plantes et un tallage fortement réduit.

Wallace (1973), indique que les maladies des plantes reliées à la présence de nématodes sont plus fréquentes et plus marquées dans les sols sableux que dans les sols argileux. On ne sait trop toutefois si cela est dû à une pauvre croissance de la plante, une déficience en eau, une augmentation de la reproduction des nématodes ou une interaction entre tous ces facteurs.

Considérée jusqu'alors comme marginale, notamment dans le cadre des études de dynamique des populations, la phase sol du nématode phytoparasite (*Ditylenchus*, *Pratylenchoides* et *Longidorus*) avait été peu étudiée car les concentrations de ces dernières sont difficilement chiffrables dans le sol et les racines. De là l'idée généralement admise que ces nématodes peuvent réaliser l'ensemble de leur cycle de vie sans quitter sa racine hôte.

Cependant, même si les nombres d'individus dénombrés dans les échantillons de sol paraissent faibles, ces populations jouent un rôle considérable quand on étudie leur persistance et leur dissémination à différentes échelles (de plant à plant comme de parcelle à parcelle).

Le sol de la rhizosphère des plantes est un écosystème dynamique, complexe et en variation perpétuelle (Kerry, 2000). Selon Yeates (1999) plus de 200 espèces de nématodes peuvent coexister dans une seule aire pour former une communauté composée de groupes fonctionnels se présentant dans trois positions de la chaîne alimentaire du sol. Les nématodes herbivores ou parasites des plantes qui s'alimentent des racines. Les bactériophages et les mycophages, consommant les bactéries et les champignons du sol,

participent indirectement à la décomposition de la matière organique. Quelques nématodes prédateurs qui se nourrissent des autres groupes trophiques et des invertébrés du sol. Les omnivores se placent séparément dans la chaîne alimentaire puisqu'ils s'alimentent sur plus d'une source, entre autres les bactéries, les champignons, les algues et les protozoaires (Neher et Campbell, 1994 ; Ferris *et al.*, 1996).

Christian (2008) a noté que les femelles auraient utilisé une partie de leurs réserves pour chercher de la nourriture, développer et pondre des œufs (d'où la réapparition de jeunes juvéniles autour du 70 jour et de manière sporadique, autour des 3^{ème} et 4^{ème} mois). Inversement, les mâles, qui ne se nourriraient pas, n'auraient pas utilisé leurs réserves ni pour chercher de la nourriture ni pour pondre ; leur activité métabolique aurait été plus faible.

Les larves issues des femelles vivantes sur un hôte tolérant sont plus grandes que celle issues des femelles vivantes sur un hôte sensible. Cette constatation n'a pu être faite que sur les larves femelles ; l'influence de la hauteur de l'hôte sur le développement est un phénomène qui se rencontre assez fréquemment chez les nématodes phytophages (Wu, 1960 ; Goodey, 1952 et Blake, 1962).

La multiplication de la densité de nématode filiforme dans le sol et les racines au cours du cycle végétatif de la variété waha de blé dur signifie la relation type du sol nommée relation mésologique est connue depuis longtemps et de nombreux auteurs ont observé que la répartition des nématodes phytoparasites est en relation avec le sol. Pour une même plante, les communautés de nématodes phytoparasites présentes dans le sol sableux sont souvent différentes de celles que l'on rencontre dans le sol argileux (Hammache, 2010).

Les propriétés physiques du sol exercent une grande influence sur le développement du système racinaire, notamment par la présence d'horizons instables et compacts, qui freinent la colonisation du sous-sol par les racines (Meartens, 1946).

En effet, il est établi qu'une fois la larve installée dans les tissus, on assiste au développement autour du parasite d'un syncytium, gaine de cellules géantes et multinuclées, qui paraît nécessaire à la nutrition du nématode ainsi qu'au développement plus particulier des femelles (Kaplarr et Keerr, 1980 ; Gommers, 1981 ; Egilbe, 1982).

Conclusion générale

Conclusion et perspectives

La réalisation de cette étude nous a permis l'identification de (03) taxons de nématodes phytoparasites, qui appartiennent à trois ordres (Tylenchida, Dorylaimida et Anguinidae), et quatre espèces de nématodes à kystes du genre *Heterodera* (*H. avenae*, *H. latipons*, *H. hordecalis* et *H. filipjevi*).

Dans le cadre d'une contribution à l'amélioration de la conduite de la rotation et pour une meilleure connaissance de la sensibilité de la variété waha de blé dur et celle du Fllip du pois chiche, les résultats de la présente étude mettent en évidence une différence de taux de multiplication des populations *Heterodera* spp, en conditions naturelles. Afin de minimiser ces populations, les agriculteurs se basent sur la rotation des cultures en introduisant les céréales dans l'assolement. En plus, ils pratiquent la jachère pour diminuer la densité des parasites.

Les nématodes à kystes des céréales et des légumineuses sont des ravageurs importants et font l'objet d'une réglementation stricte de quarantaine dans de nombreux pays dont la lutte est obligatoire.

En effet, la première année d'étude montre un taux de multiplication élevé par rapport à la deuxième année. De même, l'étude montre une différence très hautement significative du nombre de kystes pleins entre la période levée et maturation de la variété waha de blé dur, et significative pour la même période de la culture du pois chiche.

En ce qui concerne l'étude de l'effet de ce nématode phytophage sur les paramètres de croissance de la variété waha de blé dur, elle montre que ces parasites influencent négativement sur le nombre de talles par mètre carré, le nombre de grains par mètre carré et le PMG.

Une étude supplémentaire des nématodes filiformes du sol et des racines nous a accompagnée durant la première année où la densité de populations trouvée dans ½ g de racine fraîche a connu deux phases d'évolution de nématodes phytoparasites; la première est caractérisée par une grande multiplication de la densité de populations dans les premiers stades de développement (levée, tallage et montaison). Elle atteint une densité de 103 individus/½ g de racine au premier site. La deuxième phase est caractérisée par une grande diminution de la population de nématodes phytoparasites libres et saprophytes dans les deux derniers stades

(épiaison et maturation) qui atteint 04 individus/ ½ g de racine fraîche, qui peut être due à la rigidité du système racinaire.

La lutte contre ces nématodes nécessite une connaissance parfaite de ces parasites notamment leur répartition et les facteurs déterminant leur développement. Dans ce contexte, les résultats de la présente étude révèlent la présence de ces parasites dans les deux sites expérimentaux de la ferme pilote de Si-Achour qui contient des sols lourds et un système de rotation défavorable au développement de ce parasite.

Etant donné que la texture argilo-limoneuse est favorable au développement de la population d' *Heterodera* spp., au contraire, le sol argilo-calcaire est un peu défavorable. On a constaté que dans les premiers stades de développement de la culture de blé dur, certaines répétitions de ce cultivar sont indemnes de ces parasites, puis nous avons enregistré un déclenchement dans les derniers stades (montaison, épiaison et maturation). Cela est dû aux plantes cultivées, la température, la texture du sol et les pratiques culturales affectant la distribution et le degré d'abondance des communautés des nématodes ainsi que leur composition générique et spécifique. Ces facteurs sont fortement interdépendants et leurs effets peuvent être directs et/ou indirects.

Néanmoins, la difficulté dans la détection visuelle de ces ravageurs, le manque de la vulgarisation agricole dans nos régions ainsi que le manque d'intérêt des agriculteurs à toute action de sensibilisation pour lutter contre ce nématode, sont les causes majeures de l'installation et la propagation des nématodes phytoparasites filiformes et à kystes.

La monoculture et la pratique d'une rotation non raisonnée sont des facteurs qui favorisent l'infestation des sols par ces parasites. Donc, il faut introduire des cultures non hôtes au nématode de blé dur et de longues rotations afin de limiter leur dissémination et leur propagation dans les parcelles saines et leur développement dans les parcelles infestées. Il faut appliquer une lutte intégrée bien efficace contre ces parasites. Cependant, la rotation reste le meilleur moyen de lutte contre ces parasites car il s'agit de méthodes économiques non polluantes et respectueuses vis-à-vis de l'environnement.

Au terme de ce travail de recherche basé sur l'étude des paramètres, liés au sol et à la plante hôte, afin de suivre l'infestation des parcelles étudiées par les

nématodes phytoparasites, filiformes et à kystes sur le terrain, nous avons déduit qu'une connaissance parfaite du développement de ces nématodes pour une meilleure gestion exige de prospections régulières et permanentes pour mener une lutte contre ces fléaux. Cette étude a permis d'expliquer d'une part l'effet de la rotation sur la diversité du peuplement de nématodes phytoparasites et d'autre part, elle a signalé les genres les plus redoutables aux cultures céréalières.

Une bonne maîtrise des facteurs favorisant la pullulation et la propagation des nématodes phytoparasites du genre *Pratylenchoides*, *Longidorus*, *Ditylenchus* et à kystes du genres *Heterodera*, une bonne campagne de sensibilisation des agriculteurs sur les dégâts que peuvent occasionner ces nématodes phytoparasites, pourraient prévenir l'installation de ces ravageurs dans les champs ainsi que la mise en place d'une bonne stratégie de lutte.

Il serait intéressant de suivre l'étude de l'évolution de l'infestation pour contribuer avec les services de la protection des végétaux à mieux maîtriser ces nématodes phytoparasites surtout pour les zones destinées à la multiplication de la semence.

Il est nécessaire de poursuivre les études pour identifier d'autres espèces phytoparasites qui peuvent attaquer ces cultures stratégiques, d'évaluer l'infestation dans plusieurs parcelles de la région et développer la biologie de ces nématodes phytoparasites en accordant une attention particulière aux pathotypes de ces parasites pour objectif final et de développer de nouvelles méthodes de lutter contre ces agents pathogènes.

De même, l'approfondissement de l'identification des espèces par des outils moléculaires permet de mieux comprendre la systématique de ces espèces.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Adoutte A., Balavoine G., Lartillot, N. & de Rosa R., 1999.** Animal evolution: the end of the intermediate taxa?. *Trends in Genetics*, 15(3), 104-108.
2. **Afnor., 1996b.** Qualité des Sols, sédiments-Mise en solution totale par attaque. NFX31-147. Paris, France : p19.
3. **Agreste (2018).** Utilisation du territoire. <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/disaron/%21searchurl/searchUiid/search.disar>. Accessed 21 November 2018. Alger. 154p.
4. **Ait abdallah-Djennadi F., Dekkiche N., Ghalem-Djender Z., Oumdjekane K. et Zaghoun-Boufnar F., 2010.** Cultures et coût de production des grandes cultures. Ed. ITGC, Alger. 96p.
5. **Allison L. E., 1986.** Organic carbon. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of soil analysis. Part I.* American Society of Agronomy, Madison, WI. pp:1367-1381.
6. **Almaric N., Brizellon M., et Faiq C., 2008.** Les rotations en grandes cultures. La vulgarisation de l'agro-écologie de la théorie au terrain, Octobre 2008. Projet INP-ENSAT/Solagro. pp 1-5.
7. **Andersen S. & Andersen K., 1982.** Suggestions for determination and terminology of pathotypes and genes for resistance in cyst-forming nematodes, especially *Heterodera avenae*. *EPPO Bull.*, 12: 379-386.
8. **Anderson R. C., 1984.** The origins of zooparasitic nematodes. *Canadian Journal of Zoology*, 62(3): 317-328.
9. **Andersson S., 1982.** Population dynamics and control of *Heterodera avenae*- A review with some original results. *EPPO, Bulletin*, 12: 463-475.
10. **Angus, J. F., Kirkegaard, J. A., Hunt, J. R., Ryan, M. H., Ohlander, L., and Peoples, M. B., 2015.** Break crops and rotations for wheat. *Crop Pasture Sci.* 66, 523-552.
11. **Aouali S. et Douici-Khalfi A., 2013.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte. ITGC. 8-36.
12. **APS (Algérie Presse Service), 2018.** [http://fr2.aps.dz/economie/61814-filiere-cereales-plus-de-35-millions-de-tonnes-de-production-enregistrees-durant-la-](http://fr2.aps.dz/economie/61814-filiere-cereales-plus-de-35-millions-de-tonnes-de-production-enregistrees-durant-la)

- saison-2016-2017 associés aux céréales en Tunisie *Annals de l'INRAT*, 2004, 77 : 137-147.
13. **ARVALIS** - Institut du végétal (2015). Protection des céréales à paille : lutte contre les maladies de blé. ARVALIS - Institut du végétal, Paris, 73p.
 14. **Bachelier G., 1971.** La vie dans le sol. Gather .villard éditeur : 5p.
 15. **Bachelier T., 1978.** La faune des sols, son écologie et son action. ORSTOM, PARIS, 391p.
 16. **Bado BV., 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Laval, département des sols et de génie agroalimentaire, Québec, Canada, p. 197.
 17. **Bado V, Sawadogo A, Thio B, Bationo A, Traoré K, Cescas M., 2011.** Nematode infestation and N-effect of legumes on soil and crop yields in legume-sorghum rotations. *Agricultural Sciences*, 2(2) : 49- 55.
 18. **Baermann G., 1917.** Eine einfache Methode zur Auffindung von Ankylostomum (nematoden) Larven in Erdproben. *Geneesk. Tijdschrift Ned-indie* 57, 131-137.
 20. **Baize D., 2000.** *Guide des analyses en pédologie*, 2e éd., INRA, Paris.280p.
 21. **Baldy C., Ruelle P. et Fernandes A., 1993.** Résistance à la sécheresse du sorghograin en climat méditerranéen. *Séch.*, 4: 85-93.
 22. **Barakt., 2005.** Mémento d'agriculture biologique guide pratique à usage professionnel.
 23. **Bélair G., 2005.** Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes par la racine. *Phytoprotection*, 86(1) : 65-69.
 24. **Benbelkacem A., 2013.** Rapport des résultats du projet "Enhancing Food Security in Arab Countries" *Icarda-INRAA*. 35 pages.
 25. **Berge J.B., 1971.** Les rotations "rappel des avantages apportés par la rotation cultural" journées d'études et d'information. ACTA Paris XII, 540-544.
 26. **Berger J.D., 2014.** An evolutionary perspective on the role of phenology in the specific adaptation of chickpea. *Legumes Perspectives* (3) :8-11.
 27. **Berkelmans R., Ferris H., Tenuta, M. & Van Bruggen A H C., 2003.** Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than

plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology*, 23(3), 223-235.

28. **Berrabah, D., Hammache, M. & Hoceini, F., 2014.** Etude de la diversité des nématodes phytophage de cultures maraichères et l'effet de rotation sur leur développement dans le nord de l'Algérie. *SESSION 5 : ARIDOCULTURE BIOLOGIQUE ET PROTECTION DES CULTURES*, 1851.
29. **Berrabah, D., Hammache, M., & Hoceini, F., 2014.** Etude de la diversité des nématodes phytophage de cultures maraichères et l'effet de rotation sur leur développement dans le nord de l'Algérie. *SESSION 5 : ARIDOCULTURE BIOLOGIQUE ET PROTECTION DES CULTURES*, 1851.
30. **Blanchard A., 2006.** *Identification, polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kyste de la pomme de terre Globodera pallida.* Thèse de doctorat en Biologie, Université de Rennes1/Agrocampus, 264p.
31. **Blok V.C., Jones J.T., Phillips M.S. and Trudgill D.L., 2008.** Parasitism genes and host range disparities in biotrophic nematodes: the conundrum of polyphagy versus specialisation. *Bio Essays* 30, 249-259.
32. **Blumenthal T. & Davis RE., 2004.** Exploring nematode diversity. *Nature genetics*, 36(12), 1246-1247.
33. **Bois J.F., Cadet P., Plenchette C.H. & Dupannois R., 2000.** Impact des nématodes phytoparasites de la zone Soudano-Sahélienne du Sénégal sur la croissance du mil en conditions contrôlées. *Etude et Gestion des Sols*, 7(4) : 271-278.
34. **Bongers T. and Bongers M., 1998.** Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, 10: 239-251
35. **Bongers T. and Ferris H., 1999.** *Trends in Ecology and Evolution*, 14, 224–228
36. **Bongers T., 1990.** The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83(1), 14-19.
37. **Bonte J. B., 2010.** La rotation des cultures dans les systèmes céréaliers biologiques. Peut-on combiner performances économiques, agronomiques et

environnementales ? Première approche d'analyse multicritère. Mémoire de fin d'études - ARVALIS - Institut du Végétal. 61p.

38. **Boufenar-Zaghouane F. et Zaghouane O., 2006.** Guide des principales variétés de céréales à paille en ALGERIE : blé dur, blé tendre, orge et triticale. ITGC, première édition, 137 p.
39. **Boussac, Le Lamer O, Bertrand R et Rousselin X., 2012.** Développement épidémique de la fusariose des épis de blé et conséquences des interactions entre espèces du complexe fusarien. Thèse Docteur, école doctorale : sciences du végétal : du gène à l'écosystème, Université paris-sud 11, paris, 3p.
40. **Bridge J. & Starr JL., 2007.** Yams (*Dioscorea* spp.). *Plant nematodes of agricultural importance: a color handbook.* Bridge J, Starr JL (Eds.). Academic Press, San Diego, 79-83.
41. **Burr A.H.J. and Robinson A.F., 2004.** Locomotion behaviour. In: Gaugler, R. and Bilgrami, A.L. (eds) *Nematode Behaviour.* CAB International, Wallingford, UK, pp. 25-62.
42. **Cadet P., 1998.** Gestion écologique des nématodes phytoparasites tropicaux. Cahier d'Agriculture, 7: 187-194.
43. **Cadet P., Berry S. D. and Spaull V. W., 2004.** Mapping of interactions between soil factors and nematodes. *European Journal of Soil Biology* 40: 77-86.
44. **Cadet P., Masse D. and Thioulouse J., 2005.** Relationships between plant-parasitic nematode community, fallow duration and soil factors in the Sudano-Sahelian area of Senegal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102, 302-317.
45. **Cadet P., Pate E. and N'Diaye-Faye N., 2003.** Nematode community changes and survival rates under natural fallow in the sudano-sahelian area of Senegal. *Pedobiologia* 47: 149-160.
46. **Cadet P., Thioulouse J. & Albercht A., 1994.** Relationships between ferrisol properties and the structure of plant parasitic nematode communities on sugarcane in Martinique (French West Indies). *Acta OEcologica*, 15: 767-780.
47. **Cadet, P., & Floret, C., 1999.** Effect of plant parasitic nematodes on the sustainability of a natural fallow cultural system in the Sudano-Sahelian area in Senegal. *European journal of Soil biology*, 35(2), 91-97.

48. **Caporalino-Djian C., Védie H. et Arrufat A., 2009.** Nématodes à galles, l'atout des plantes-pièges. *PHYTOMA La Défense des Végétaux.*, Vol ., N° 624-625., pp21-25.
49. **Carroll J.J. & Vigliercho D.R., 1981.** On the transport of Nematodes by the Wind. *Journal of Nematology*, 13, 476-483.
50. **Caubel G., Person F. et Rivoal R., 1980.** Les nématodes dans les rotations céréalières. *Perspectives Agricoles*, 36 : 32-48.
51. **Cayrol J.C, Djian C, Frankowski J.P., 1992.** Efficacy of Avermectins for the control of root-knot nématodes. *Nematologica* (sous presse).
52. **Cayrol J.C, Velasquez-Dominguez M., Levieux P., 1981.** Etude préliminaire sur les possibilités d'utilisation des Champignons parasites comme agents de lutte biologique. *Bull. OEPP*, 12(4), 497- 503
53. **Celetti MJ., 2006.** Échantillonnage du sol et des racines visant le dénombrement des nématodes phytoparasites. Fiche Technique, (ed) la Reine pour l'Ontario: Canada
54. **Chitwood DJ., 2003.** Nematicides. *Encyclopedia of agrochemicals.c*
55. **Choppin De Janvry E., 1971.** Les Nématodes des céréales in " Les nématodes des cultures " ACTA-FNGPC, Paris, 31: 273-326.
56. **Christian C., 2008.** Survie et dissémination du nématode *Radopholus similis* (Cobb) Thorne dans les sols bruns-rouilles à halloysites (nitisols) : effets de l'état hydrique et des flux hydriques. Thèse de doctorat de l'Université des Antilles et de la Guyane.
57. **Clarke A.J. & Perry R.N., 1977.** Hatching of cyst nematode *Nematologica*, E.J, Brill, leiden, 23:350-368.
58. **Clément G. & Prats J., 1970.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2° Ed. 351pages.
59. **Cobb N.A., 1918.** *Estimating the nema population of the soil.* Agric. Tech. Circ. Bur. Pl. Ind. U.S. Dep. Agric., n°1, 48 pp.
60. **Coll M., Piroddi C., Albouy C., Ben Rais Lasram F., Cheung W. W., Christensen V. & Pauly D., 2012.** The Mediterranean Sea under siege: spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), 465-480.
61. **Coyne D.L., 2007.** *Les nématodes des plantes : Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire.* Ed IITA ,92p

62. **Coyne D.L., Nicol J.M. et Claudius-Cole B., 2010.** *Les nématodes des plantes : Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire.* Ed. IITA (International Institute of Tropical Agriculture), Nigeria, 93 p.
63. **Croll NA. & Matthews BE., 1977.** *Biology of nematodes.* Blackie & Son Limited..
64. **Dababat A, Imren M, Erginbas-Orakci J, Ashrafi S, Yavuzaslanoglu E, Toktay H., 2015.** The importance and management strategies of cereal cyst nematodes, *Heterodera* spp., in Turkey. *Euphytica* 202(2):173-188. [[Google Scholar](#)]
65. **Davies K. & Spiegel Y., 2011.** *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes:: Building Coherence between Microbial Ecology and Molecular Mechanisms* (Vol. 11). (Eds.). Springer Science & Business Media.
66. **De Guiran G. et Netscher C., 1970.** Les nématodes du genre *Meloidogyne* parasites des cultures maraîchères au Sénégal. Cahiers ORSTOM, *série Biologie*, 11, 151-158.
67. **De Leij FAAM., Kerry BR. & Dennehy JA., 1993.** *Verticillium chlamydosporium* as a biological control agent for *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* in pot and micro-plot tests. *Nematologica* 39, 115–26.
68. **Dixon G. M., 1969.** The effect of the cereal cyst nematode on spring sown cereals. *PL. Path*, 18: 109-112.
69. **Djermoun, A., 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, (1), 45-53.
70. **Djigal D., 2003.** *Interaction entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les nématodes bactérivores : effet sur la nutrition minérales et la croissance de différentes plantes.* Thèse de doctorat.
71. **Djigal D., Chabrier C., Duyck P F., Achard R., Quénéhervé P. & Tixier P., 2012.** Cover crops alter the soil nematode food web in banana agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 48, 142-150.
72. **Dorris M., De Ley P. & Blaxter ML., 1999.** Molecular analysis of nematode diversity and the evolution of parasitism. *Parasitology today*, 15(5), 188-193.

73. **Drinkwater L E., Wagoner P. and Sarrantonio M., 1998.** Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses, *Nature*, vol.396, p.262.
74. **Dropkin, V. H., 1969.** Cellular responses of plants to nematode infections. *Annual review of phytopathology*, 7(1), 101-122.
75. **Esmenjaud D., Marzin H. et Rivoal R., 1987.** Forte attaques du nématode *Heterodera avenae* sur blé dur dans le Lauragais. *Phytoma défense des cultures*, 390: 25-27.
76. **Fabre C., 2008.** Fiche technique production développement en languedoc-Roussillon.
77. **FAO, 2015.** Statistical database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations.
78. **FAO, 2018.** Statistics Division, FAO, Disponible sur l'adresse : Filière oléo-protéagineux. 2008 : 1p.
79. **FAOSTAT, 2013.** (Food And Agriculture Organization Of The United Nations). <http://faostat.fao.org>.
80. **Feliachi, K., Amroun R. & Khaldoun A., 2001.** Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie. *Céréaliculture-ITGC Algérie*, 35, 28-34.
81. **Fenwick DW., 1940** - Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera schachtii* from soil. *Journal of Helminthology*, 18: 155-172.
82. **Ferraz L.C.C.B. & Brown D.J.F., 2002.** An introduction to nematodes: *plant nematology*. Derek J.F., Brown B.A. Eds. 221p.
83. **Ferris H. and Bongers T., 2006.** Nematode indicators of organic enrichment. *Journal of Nematology*, 38: 3-12.
84. **Ferris H., 2010.** Form and function : Metabolic footprints of nematodes in the soil food web, *European Journal of Soil Biology*, vol.46, pp.97-104.
85. **Fisher J.M., 1981.** Futher observation on the effect of temperature on *Heterodera avenae* woll. *Nematologica*, 27: 228-234.
86. **Fontaine L., 2011.** Rotations pratiquées en grandes cultures biologiques. état des lieux. Conception et évaluation des systèmes de grande culture en AB - Restitution des programmes RotAB et Ci-todAB 6 avril 2011, Toulouse-Auzeville - Journée Technique Grande Culture biologique ITAB / ARVALIS – Institut du végétal, en collaboration avec l'INRA. Pp 1-13.

87. **Freckman D. W. & Caswell E. P., 1985.** The ecology of nematodes in agro ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 23: 275-296.
88. **Freckman D.W. & Ettema C.H., 1993.** Assessing nematode communities in agro ecosystems of varying human intervention. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 45: 239-261
89. **Fu S., Coleman D. C., Hendrix P. F. and Crossley Jr D. A., 2000 -** Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no-till regimes. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1731-1745.
90. **Gate Ph. Et Giban M., 2003.** Stades du blé. Edition ITCF, Paris. 68p.
91. **Gaur, P.M., A.K. Jukanti, R.K. Varshney., 2012.** Impact of genomic technologies on chickpea breeding strategies. *Agron. J.* 2:199–221. doi : 10.3390/agronomy2030199. Gembloux Agro-Bio Tech et CRA-W.
92. **Ghosh R., Sharma M., Telangre R., Pande S., 2013.** Occurrence and Distribution of Chickpea Diseases in Central and Southern Parts of India. *American Journal of Plant Sciences* 4: 940-944.
93. **Godoy G., Rodríguez-Kábana R. & Morgan-Jones G., 1983.** Fungal parasites of *Meloidogyne arenaria* eggs in an Alabama soil. A mycological survey and greenhouse studies. *Nematropica* 13, 201–13.
94. **Gommers F. J., 1981.** Biochemical interactions between nematodes and their relevance to control. *Helmintholog. Abstr.*; 50, 9-21.
95. **Goodey J. B., 1952.** The influence of the host on the dimensions of the plant parasitic nematode, *Ditylenchus destructor*. *Ann. appl. Biol.*, 39: 468-474
96. **Haddadi F., 1999.** Aperçu sur l'état d'infestation de quelques régions céréalières d'Algérie par les nématodes à kyste des céréales. In *Proceeding du deuxième symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses Alimentaires* (pp. 33-39).
97. **Hammache M., 2010.** Influence de quelques types de sol Algériens sur le développement des nématodes à galles ; *Meloidogyne Incognita*, *M Javaica* et *Meloidogyne Arenaria* (Tylenchida. Meloidogynidae) *Lebanese Science Journal*, Vol, (11), n°2, pp 47-61.
98. **Hamroun W., 2006.** *Etat d'infestation de quelques régions céréalières d'Algérie par le nématode à kystes (Heterodera)* (Doctoral dissertation, INA).

- 99. Handoo Z.A., 2002.** A Key and Compendium to Species of the *Heterodera avenae* Group (Nematoda: Heteroderidae). *J Nematol.*, 34(3) : 250–262.
- 100. Hooper D.J., 1970.** Handling, fixing, staining and mounting nematodes. In : Southey, J.F. (Ed.), 5th edition. *Laboratory methods for work with plant and soil nematodes*, Technical Bulletin of Minister of Agriculture Fisheries Fd 2, London, H.M.S.O. 59-80.
- 101. Houasli C., Nasserlhaq N., Elbouhmadi K., Mahboub S., Sripada U., 2014.** Effet du stress hydrique sur les critères physiologiques et biochimiques chez neuf génotypes de pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Nature and Technology* [en ligne], N°11, 16-18p. (consultée le 3 déc 2016).
- 102. Hutchinson CM., McGiffen ME., Ohr HD., Sims JJ. & Becker JO., 1999.** Efficacy of methyl iodide soil fumigation for control of *Meloidogyne incognita*, *Tylenchulus semipenetrans* and *Heterodera schachtii*. *Nematology*, 1(4), 407-414.
- 103. Ibrahim A.A.M., Al-Hazmi A.S., Al-Yahya F.A. & Alderfasi., 1999.** Damage potential and reproduction of *Heterodera avenae* on wheat and barley under Saudi field conditions. *Nematology*, 1: 625-630.
- 104. Imren M. et Elekcioglu I.H., 2014.** *Effect of cereal cyst nematode Heterodera avenae (Tylenchida: Heteroderidae) on yield of some spring wheat varieties in Adana Province, Turkey.* *Turk. J. Agric* 38: 820-823.
- 105. ITGC (2019) ; GRANDES CULTURES EN ALGERIE : Tendances et coût de production (2017-2018), 27p.**
- 106. Jatala P., Kaltenbach R. & Bocangelm., 1979.** Biological control of *Meloidogyne incognita* acrita and *Globodera pallida* on potatoes. /. *NematoL*, 11, 303.
- 107. Kaplan D.T., & Keen N.T., 1980.** Mechanisms conferring plant incompatibility to nematodes. *Revue de nematologie*, Vol 3, 1, 123-134.
- 108. Kerry B. R. (2000).** Rhizosphere interactions and the exploitation of microbial agents for the biological control of plant-parasitic nematodes. *Annual review of phytopathology*, 38(1), 423-441.
- 109. Kerry B.R., Deleu F., 1991.** New nematocidal strain of *Verticillium chlamydosporium* for control of *Meloidogyne* spp., well maintained in soil without damage to plants. Brevet Agric Genetics Co. n ° WO9101642.

- 110. Kerry BR., Simon A. & Rovira AD., 1984.** Observations on the introduction of *Verticillium chlamydosporium* and other parasitic fungi into soil for control of the cereal cyst-nematode *Heterodera avenae*. *Annals of Applied Biology*, 105(3), 509-516.
- 111. Kiewnick S. & Sikora RA., 2006.** Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strain 251. *Biological control*, 38(2), 179-187.
- 112. Kotchi V., YAO Kouamé A. et Sitapha D., 2012.** Réponse de cinq variétés de riz à l'apport de phosphate naturel de Tilemsi (Mali) sur les sols acides de la région forestière humide de Man (Côte d'Ivoire) .Vol.15, Issue 2: 21 Publication date 30/9/2012.
- 113. Labdelli F, Adamou-Djerbaoui M, Oulbachir K, Allel A., 2017.** Behavior of cereal's varieties in the presence of *Heterodera avenae* woll (Heteroderidae, Tylenchida) cyst nematode in Tiaret area (Algeria). *J Fundam Appl Sci* 9(3) : 1378–1394. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
- 114. 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.
- 115. Laëtitia P., 2013.** Etude de partenaires protéiques d'une protéine associée aux microtubules (MAP 65-3) indispensable à la formation des cellules géantes induites par le nématode à galles *Meloidogyne incognita*: caractérisation du complexe de surveillance de la mitose chez *Arabidopsis*. *Thèse de doctorat* l'université de Nice-Sophia Antipolis.
- 116. Lassere F., 1994.** Lutte intégrée contre *Heterodera avenae* (Nematoda): conséquences sur une communauté de nématodes en agroecosystemes céréalière, thèse doct. Univ., Rennes I., Fr., 90p.
- 117. Lavelle P., Blouin M., Boyer J., Cadet P., Laffray D., Pham-Thi A. T., Reversat G., Settle W. and Zuily Y., 2004.** Plant parasite control and soil fauna diversity. *Comptes-Rendus Biologies* 327: 629-638.
- 118. Lazali, M., 2014.** Etude des organismes agro physiologiques et moléculaires d'adaptation à la déficience en phosphore chez la symbiose rhizobienne du haricot (*Phaseolus vulgaris* L). Thèse doctorat. El Harrach-Alger. 152pp.

- 119. Le Roux.V., Brunissen.L., Charles .V. et Giordanengo P., 2008.** Amélioration génétique de la pommes de terre et résistance aux pucerons : Du terre a la réponse moléculaire de la plante Cahiers Agricultures vol. 17, n° 4, juillet-août pp. 401-405.
- 120. Lombardo S., Colombo A., Rapisarda C., 2011.** Cyst nematodes of the genus *Heterodera* and *Globodera* in sicily. Redia, XCIV, 2011: 137-141.
- 121. Luc M., 1960.** Les nématodes associés aux plantes de l'Ouest Africain, liste préliminaire. *Agron.Trop*, 15(4) : 434-449.
- 122. Magi E., 1989.** The relationships between the cereal cyst nematode population density, barley yield and nematode multiplication in field plots. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised Biologia*, 38: 189-194.
- 123. Mamoudou T., François L., BoumaT., Badiori O., Korodjouma O. et Michel S., 2012.** Influence de la rotation culturale, de la fertilisation et du labour sur les populations de nématodes phytoparasites du sorgho (*Sorghumbicolor* (L.) Moench. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 16 (1) : 59-66.
- 124. Martin Brink, Getachew Melese Belay., 2006.** Céréale et légumes secs. Edition : PROTA.
- 125. Masle-Meynard J., 1980.** *L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière* (Doctoral dissertation, Institut National Agronomique Paris Grignon).
- 126. Mazoyer M. et Roudart L., 1997.** Histoire des agricultures du monde du néolithique à la crise con-temporaine. Éditions du Seuil. 545p.
- 127. Meagher J.W. & Brown R.H., 1974.** Micro plot experiments on the effect of plant hosts on populations of the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) and on the subsequent yield of wheat. *Nematologica*, 20: 337-346.
- 128. Meagher J.W., 1977.** World dissemination of the cereal-kyst nematode (*Heterodera avenae*) and its potential as a pathogen of wheat. *J. Nematol.* 9, 9-15.
- 129. Merouche A., Debaeke P., Messahel M. and Kelkouli M., 2014.** Response of durum wheat varieties to water in semiarid Algeria. *African journal of agricultural research*, 9(38): 2879-2892. DOI: 10.5897/AJAR2013.7318.

- 130. Mezetti A., 1953.** Osservazioni sull'anguillulosi radical dei cereali in Italia. *Annali Sper. agr. n. S.,7:* 743-758.
- 131. Millán T., Madrid E., Cubero J.I., Amri M., Castro P., Rubio J., 2015.** Chickpea. In: *Handbook of plant Breeding: Grain legume*. Ed. Antonio M. De Ron Misión Biológica de Galicia (MBG) Spanish National Research Council (CSIC) Ponteved, Spain. 437p.
- 132. Mokabli A, Tirchi N, Righi K, Labdeli F, Smaha D. 2016.** Cereal cyst nematodes in Algeria: Main species, biology and effect on yields. F.R. Assia *et al.*: Cah. Agric. 2019, 28, 17 Page 9.
- 133. Mokabli A., 2002.** "Biologie des nématodes à kystes "Heterodera" des céréales en Algérie. Virulence de quelques populations à l'égard de diverses variétés et lignées de céréales, " These Doc. INA. Agro., El-Harrach-Alger.
- 134. Mokabli A., S. Valette J. P. Gauthier & R. Rivoal., 2002.** Variation in virulence of cereal cyst nematode populations from North Africa and Assia. *Nematology*, 4 (4): 521-525.
- 135. Mokabli A., Valette S., Gauthier J.P. & Rivoal R., 2001.** Influence of temperature on the hatch of *Heterodera avenae* Woll. Populations from Algeria. *Nematology*, 3:171-178.
- 136. Mokrini F., Andaloussi, F. A., Alaoui, Y., & Troccoli, A., 2009.** Importance and distribution of the main cereal nematodes in Morocco. *CEREAL CYST NEMATODES*,45.
- 137. Moragues. M., del Moral, L. F. G., Moralejo. M., & Royo. C., 2006.** Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin : II. Biomass production and allocation. *Field Crops Research*, 95 (23), 182-193.
- 138. Moreau J.M., 2011.** Lutte contre les maladies. Livre Blanc « Céréales » ULg.
- 139. Morgan G.D., MacGuidwin A.E., Zhu J. & Binning L.K., 2002.** Population Dynamics and Distribution of Root Lesion Nematode (*Pratylenchus penetrans*) over a Three-Year Potato Crop Rotation. *Agronomy Journal*, 94, 1146-1155.
- 140. Morlon P., 2013a.** Assolement, rotation, succession, système de culture. Fabrication d'un concept, 1750-1810. In. Les mots de l'agronomie, Dictionnaire historique et critique. <http://motsagronomie.inra.fr/> monitoring. *Trends in Ecology and Evolution* 14, 224-228.

- 141. Moyen P., 2016.** Rotation, agriculture. Encyclopædia Universalis. Consulté le 11 juillet 2017. URL. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/rotation-agriculture/>
- 142. Mugniery D., 1975.** Etat des travaux de recherches sur les nématodes à kystes de la pomme de terre.
- 143. Mugniery D., Rivoal R. & Zaouchi H., 1971.** Rapport sur les travaux nématologiques effectués de 1968 à 1970. *Centre Nat. Rech. Agro.*
- 144. Mulvey R. H., 1972.** Identification of *Heterodera* cysts by terminal and cone top structures.
- 145. Nakachian J.M. et Jacquemont R., 1971.** L'analyse nématologique. In nématodes des cultures. Ed.ACTA, Paris : 759-792.
- 146. Namouchi-Kachouri N. & B'Chir M. M., 2004.** Distribution des principaux nématodes P171.
- 147. Namouchi-Kachouri N., Kallel S. et B'Chir M. M., 2009.** Incidence économique d'*Heterodera avenae* sur blé, *Triticum durum*, sous les conditions naturelles tunisiennes. *Nematologia Mediterranea*, 37: 3-10.
- 148. Neher D A., 2001.** Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of nematology*, 33(4), 161.
- 149. Norton D.C., 1978.** Ecology of plant parasitic nematodes. John Wiley & Sons edit., New York, USA, 268 pp.
- 150. Norton D.C., 1989.** Abiotic soil factors and plant-parasitic nematode communities. *Journal of Nematology*, 21: 299-307.
- 151. Oostenbrink M., 1960.** Estimating nematode populations by some selected methods. *Nematology*, 85-102.
- 152. Ouanighi., 2004.** Infestation de quelques parcelles de céréales par les nématodes à kystes (*Heterodera*). Capacité d'Hôte de trois variétés d'orge locales vis-à-vis d'*Heterodera latipons*. Thèse de Magistère, INA, El-Harrach, 104p.
- 153. Peoples M. B., Brockwell J., Herridge D. F., Rochester I. J., Alves B. J. R., Urquiaga S., Boddey R. M., Dakora F. D., Bhattarai S., and Maskey S., 2009a.** The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* **48**, 1-7.
- 154. Philis I., 1997.** *Heterodera latipons* and *Pratylenchus thornei* attacking barley in Cyprus. *Nematologia Mediterranea* 25: 305–309. [[Google Scholar](#)]

- 155. Preissel S., Reckling M., Schläfke N. and Zander P., 2015.** Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe : A review. *Field Crop. Res.* **175**, 64-79.
- 156. Rammah A., 1994.** Cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Morocco. *Arab and Near East Plant Protection Newsletter*, 19: 40.
- 157. Renaud S., et Colin D., 2017.** Les rotations de culture : Intérêt en Agriculture Biologique. Université de Rennes 1 et Agrocampus Ouest, Master Sciences et Productions Végétales. 25p.
- 158. Reversat G., 1988.** Implication des nématodes phytoparasites dans le concept de la fatigue des sols. In : *Rapport du Séminaire International de Pointe-Noire sur le thème des Facteurs et conditions de la fertilité du milieu tropical humide*. Paris : UNESCO-PNUD-AUPELF, 123-133.
- 159. Righi K, Righi Assia F, Mokabli A. 2017.** Infestation of cereal plots by the Cyst Nematode *Heterodera* spp in Western Algeria. Proceedings of the Sixth International Cereal Nematodes Symposium, Agadir, Morocco, 11-15 September.
- 160. 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.
- 161. Ritter M., 1961.** Importance et actualité du problème des nématodes en France. In : *Les nématodes. Journées d'études et d'information C.N.R.A.* Versailles 16-17 XI 1961.
- 162. Ritter M., 1971.** Les nématodes des céréales in « les nématodes des cultures ». ACTA, Paris 12eme : 273-291.
- 163. Ritter M., 1982.** Importance des nématodes à kystes des céréales. *OEPP Bulletin*, 12 : 307-316.
- 164. Ritter M., 1985.** Connaissances nouvelles sur la biologie des nématodes conséquences pratiques. ACAD. Agro de France compte rendus des séances T71 n°7, 691 : 704.
- 165. Ritz K. & Trudgill D.L., 1999.** Utility of nematode community analysis as an integrated measure of functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and Soil*, 212: 1-11.

- 166. Rivoal R. & R. Cook., 1993.** Nematode pests of cereals. Pp. 259- 303 in K. Evans, D.L. Trudgill, and J. M. Webster, eds. Plant parasitic nematodes in temperate agriculture. Wallingford, UK: CAB International.
- 167. Rivoal R. et Rivierre., Penard P. et Simon A., 1989.** Etude du profil cultural de deux sites, l'un infestés l'autre non, par *H. avenae* woll. Conséquence sur le développement racinaire du blé tendre d'hiver. *Agronomie* v9, n° 7 : 641-750.
- 168. Rivoal R. Person De Dryver F. et Doussinault G., 1985.** Polymorphisme chez le nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* woll. Conséquence sur la nuisibilité et sur la sélection de variétés résistances en France. C.R.A. CARD. Agro. De France T71 n°7 : 741-749.
- 169. Rivoal R. S., Bekal S., Valette J.P., Gauthier M., Bel Hadj Fradj A., Mokabli J., Jahier J., Nicol. & Yahyaoui A., 2001.** Variation in reproductive capacity and virulence on different genotypes and resistance genes of *Triticeae*, in the cereal cyst nematode species complex. *Nematology*, 3: 581-592.
- 170. Rivoal R., 1983.** Biologie D'*Heterodera avenae* Wollenweber en France. III. Evolution des diapauses des races Fr1 et Fr4 au cours de plusieurs années consécutives ; influence de la température. *Revue de nématologie*, 6, 157-164.
- 171. Rivoal R., 1986.** Biology of *Heterodera avenae* Wollenweber in France. IV. Comparative study of the hatching cycles of two ecotypes after their transfer to different climatic conditions. *Revue de Nématologie*, 9: 405-410.
- 172. Rivoal R., 1986.** Nuisibilité du nématode à kyste *Heterodera avenae* et perspectives de lutte. In : Les rotations céréalières intensives. Dix années d'études concentrées. Journ. Etudes, INRA., pp. 203-212.
- 173. Rodriguez-Kabana R., Morgan-Jones G. & Gintis B. O., 1984.** Effects of chitin amendments to soil on *Heterodera glycines*, microbial populations, and colonization of cysts by fungi. *Nematropica*, 10-25.
- 174. Sahnoune F., Belhamel M., Zelmat M. & Kerbachi, R., 2013.** Climate change in Algeria: vulnerability and strategy of mitigation and adaptation. *Energy Procedia*, 36, 1286-1294.
- 175. Salomé C P. Coll E., Lardo., A Metay., Villenave C., 2016.** The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable

- agroecosystems : A case study in Mediterranean vineyards, *Ecologic indicators*, vol.61, pp.456-465.
- 176. Sanchez A. & Zancada M. C., 1987.** Characterization of *Heterodera avenae* pathotypes from Spain. *Nematologica*, 33(1), 55-60.
- 177. Sarah J.L., Chabrier C. et Mestre J., 1996.** Méthode d'étude de l'efficacité en plein champ de nématicides destinés à lutter contre les nématodes des bananiers. Méthode CEB n° 182. Association Nationale de Protection des Plantes (ANPP) Edit. Paris, France. 7pp.
- 178. Sayoud R. et benbelkacem K., 1996.** Situation des maladies des céréales en Algérie. Proceeding. Symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. Actes IAV Rabat, Maroc. P. 69-70.
- 179. Schmidt G. D., & Kuntz, R. E., 1973.** Nematode parasites of Oceanica. XX. *Paraheterotyphlum ophiophagos* n. sp. (Heterocheilidae), from the banded yellow-lip sea snake, *Laticauda colubrina*. *American Midland Naturalist*, 481-484.
- 180. Schneider A. & Huyghe C., 2015.** *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables* (p. 512). éditions Quae.
- 181. Schulthess U., Timsina J., Herrera J. M. & McDonald A., 2013.** Mapping field-scale yield gaps for maize : An example from Bangladesh. *Field Crops Research*, 143, 151-156. semi-aride. *Agriculture 2*, 42-50.
- 182. Scotto la Massese C., 1961.** Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie. In (Les Nématodes). *Journ .et Inf. C.N.R.A.Versailles*, 83-109.
- 183. Sikora A. R., Bridge J. & Michel L., 2005.** *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture.*, CABI Publishing is a division of CAB International., 2nd Edition.
- 184. Smadhi D, Zella L., 2009.** Céréaliculture en sec et précipitations annuelles : le cas de l'Algérie du Nord. *Sécheresse 20* : 199-203.
- 185. Smadhi D. et Zella., 2009.** Pluviométrie et céréaliculture dans le système agro-économique de l'Algérie. *Sciences et technologie*, pages 56-62.
- 186. Smiley R. W., Ingham R. E., Uddin W., & Cook G. H., 1994.** Crop sequences for managing cereal cyst nematode and fungal pathogens of winter wheat. *Plant disease*, 78(12), 1142-1149.

- 187. Solhenius B. & Sandor A., 1987.** Vertical distribution of nematodes in arable soil under grass (*Festuca pratensis*) and barley (*Hordeum distichum*). *Biology and Fertility of Soils*, 3:19-25.
- 188. Solhenius B., 1980.** Abundance, biomass and contribution to energy flow by soil nematodes in terrestrial ecosystems. *Oikos*, 34:186-194.
- 189. Soltner P., 2005.** Les bases de la production végétales : La plante et son amélioration.
- 190. Sosa Moss C., 1966.** *Contribution à l'étude d'un nématode phytoparasite Heterodera avenae Woll* (Doctoral dissertation, Thèse fac. sci. Uni. Paris).
- 191. Speijer P.R. & De Waele D., 1997.** *Screening of Musa Germplasm for Resistance and Tolerance to Nematodes*. INIBAP Technical Guidelines 1. *International Network for the Improvement of Banana and Plantain*, Montpellier. 47pp.
- 192. Spiegel Y.M., Burrows P.M. & Bar-Eyal M., 2003.** A Chemo Attractant in Onion Root Exudates Recognized by *Ditylenchus dipsaci* in Laboratory Bioassay. *Phytopathology*, 93: 127-132.
- 193. Station météorologique de Béni-Slimane, 2020. Direction des services agricole de Médéa, Direction générale des forets, Agence nationale des ressources hydrique de la région.** Sources forme fichiers, Excel...etc.
- 194. Stirling, G. R. & West, L. M., 1991.** Fungal parasites of root-knot nematode eggs from tropical and subtropical regions of Australia. *Australasian Plant Pathology*, 20(4), 149-154.
- 195. Stoll G., 2002.** Protection Naturelle des Végétaux en Zones Tropicales. Margraf Verlag : Allemagne.
- 196. Subbotin S.A., Sturhan D., Rumporhust H.J. & Moens M., 2002.** Description of Australian cereal cyst nematode *Heterodera australis* sp. n. (Tylenchida: Heteroderidae). *Russian journal of nematology*, 10:139-148.
- 197. Swarup G. & Singh K., 1964.** Studies on the population of *Heterodera avenue*Woll. Causing Molya disease of wheat and barley in Rajasthan. *Indian Phytopath*, 17: 212-215.
- 198. Talwana H. L., Butseye M. M. & Tusime G., 2008.** Occurrence of plant parasitic nematodes and factors that enhance population build-up in cereal-based cropping systems in Uganda. *Afr. Crop Sci.J*, 16:119-131.

- 199. Tard O.P., Siddiqui A.U., Parihar A. & Yadav Y.S., 2005.** Effect of soil types on multiplication and development of cereal cyst nematode, *Heterodera avenae*, on wheat. *Indian Journal of Nematology*, 35: 75-76.
- 200. Thorne G., 1961.** *Principles of nematology*, 533 pp. McGraw Hill, New York, Etats-Unis.
- 201. Tirchi N., Troccoli A., Fanelli E., Mokabli A., Mouhouche F. De Luca F., 2017.** Morphological and Molecular Identification of Potato and Cereal Cyst Nematode Isolates from Algeria and Their Phylogenetic Relationships with Other Populations from Distant Their Geographical Areas. *Eur J Plant Pathol* 146: 861-880
- 202. Traore, Mamoudou, Lompo, François, Thio., 2012.** Influence de la rotation culturale avec apport de matières organiques exogènes et d'une fertilisation minérale sur les nématodes phytoparasites en culture du sorgho au Centre Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 6, no 2, p. 628-640.
- 203. Trap J., Bonkowski M., Plassard C., Villenave C., Blanchart E., 2016.** Ecological importance of soil bacterivores for ecosystem functions. *Plant & Soil* 398,1-24.
- 204. Trigiano R. N., Windham M.T. & Windham A.S., 2004.** *Plant pathology: Concepts and laboratory exercises*. Ed. CRC press, Washington, 702 p.
- 205. Turner S. J. and Rowe J. A., 2006.** Cyst nematodes. Pp.91-121 in Roland N.P. et Moens M. (Eds), *Plant Nematology*. Ed. CABI, London, 463 p.
- 206. Wallace H. R., 1973.** *Nematode Ecology and Plant Disease*. Edward Arnold (Publishers) Limited, London, pp. 228.
- 207. Whitehead A.G., 1997.** *Plant Nematode Control*. CAB International, Wallingford. 400pp.
- 208. Wolfong R., 1991.** *Maladies et ravageurs de la pomme de terre*. Ed. TH., MANN, France, pp. 131-134.
- 209. Wollenweber H.W., 1924.** Zur Kenntnis der Kartoffel - Heteroderen. *Illustrierte Landwirts chaftliche Zeitung*, 44 : 100-101.
- 210. Wu Q. T., 1989.** Biodisponibilité du cadmium dans les systèmes sol-plante. Thèse de doctorat, INPL. Nancy.
- 211. Wyss U., 1997.** Root parasitic nematodes: an overview. In: Fenoll, C., Grundler, F.M.W. and Ohl, S. (eds) *Cellular and Molecular Aspects of Plant-*

Nematode interactions. Kluwer Academic Press, Dordrecht, the Netherlands, pp. 5-22.

- 212. Yeates G.W., Bongers T., 1999.** Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74, 113-135.
- 213. Yeates G.W., Wardle D.A. & Watson R.N., 1999.** Responses of soil nematode community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven-year period. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1721-1733.
- 214. Yepsen RB., 1984.** *Encyclopedia of natural insect & disease control*. Rodale press.
- 215. Yepsen Roger B., 1984.** The encyclopedia of natural insect and disease control. Rev. *Rodale Press, Emmaus, Pa.*, pp. 267-271.
- 216. Zine-Zikara F., Bouzid L., Yekkour A., 2015.** Le pois chiche en Algérie : situation, potentialités et perspectives. *Recherche Agronomique* 27: 35-47. zooloègie-..Ed.

Annexes

Annexe

Annexe I : Moyennes et valeurs des paramètres étudiés

Tableau 1. Les valeurs moyennes d'analyse chimiques du sol

Site	Rép	Echantillon	%CaCO ₃	CE (µs/cm)	%CO	%MO	pH
Site I	R1	E1	2,6	357,2	0,7	1,23	7,92
		E2	2,8	362,52	0,71	1,21	7,92
		E3	2,8	368,31	0,54	0,94	7,94
	R2	E1	2,4	413,82	0,95	1,65	8,08
		E2	2,4	405,03	0,91	1,58	8,09
		E3	2,4	402,73	0,72	1,24	8,09
	R3	E1	1,3	222,81	0,57	0,98	7,83
		E2	1,2	228,23	0,53	0,91	7,83
		E3	1,2	231,09	0,41	0,7	7,85
	R4	E1	2,4	33,07	0,74	1,28	7,87
		E2	2,2	339,75	0,61	10,5	7,88
		E3	2,2	342,86	0,52	0,9	7,91
	R5	E1	1,8	362,5	1,04	1,8	7,82
		E2	2,1	366,09	0,88	1,52	7,84
		E3	2,4	368,31	0,79	1,36	7,84
	R6	E1	1,3	406,1	1,08	1,87	8,05
		E2	1,2	411,35	0,94	1,63	8,05
		E3	1,2	412,67	0,73	1,26	8,07
Moyenne			1.99	335.24	0.74	1.80	7.93
Site II	R1	E1	17,2	416,09	0,27	0,46	8,1
		E2	17,6	422,33	0,23	0,39	8,1
		E3	18,31	431,28	0,18	0,3	8,12
	R2	E1	24,13	418,92	0,25	0,43	8,15
		E2	24,95	421,24	0,22	0,37	8,16
		E3	26,26	427,55	0,15	0,25	8,15
	R3	E1	19,26	536,2	0,37	0,65	8,02
		E2	19,61	541,98	0,27	0,46	8,02
		E3	24,3	562,31	0,21	0,36	8,06
	R4	E1	22,81	516,12	0,18	0,3	8,13
		E2	23,06	523,46	0,16	0,27	8,13
		E3	24,36	528,17	0,13	0,22	8,13
	R5	E1	14,5	518,07	0,1	0,18	8,09
		E2	16,38	523,61	0,1	0,18	8,09
		E3	18,61	536,3	0,08	0,15	8,1
	R6	E1	22,6	520,33	0,37	0,65	8,12
		E2	22,85	520,63	0,29	0,51	8,1
		E3	23,07	526,38	0,19	0,34	8,13
Moyenne			21.10	493.94	0.20	0.35	8.10

Annexe

Tableau 2. Les principaux variables étudiés au stade levée de la variété Waha de blé dur

Site	Rép	Poids d'échantillon		Nombre de nématodes filiformes, à kystes, degré d'infestation et longueur de racine						
		Racine (g)	Sol (g)	Racine	Sol	(L ₂ /g de sol)	NNKT H	NNK VH	NNKP H	LR (cm)
Site I	R1	½	300	24	353	1,18	6	6	0	7,31
		½	300	20	460	1,53	2	2	0	9,21
		½	300	29	582	1,94	4	4	0	9,37
	R2	½	300	35	736	2,45	7	7	0	6,60
		½	300	29	763	2,54	8	8	0	6,47
		½	300	32	862	2,87	9	9	0	6,30
	R3	½	300	33	536	1,79	9	8	1	10,74
		½	300	30	853	2,84	11	9	2	9,24
		½	300	39	821	2,74	7	7	0	8,15
	R4	½	300	40	736	2,45	4	4	0	8,21
		½	300	29	774	2,58	8	8	0	9,54
		½	300	37	869	2,90	6	6	0	9,62
	R5	½	300	35	1105	3,68	11	11	0	7,21
		½	300	32	815	2,72	7	7	0	5,27
		½	300	38	753	2,51	9	9	0	8,72
	R6	½	300	25	521	1,74	17	15	2	10
		½	300	19	561	1,87	14	13	1	8,04
		½	300	28	646	2,15	14	11	3	8,10
Moyenne		½	300	30.77	708.11	2.63	8.5	8	0.5	8.22
Site II	R1	½	300	30	567	1,89	8	7	1	8,30
		½	300	22	652	2,17	8	6	2	8,20
		½	300	26	743	2,48	8	8	0	9,06
	R2	½	300	32	503	1,68	12	10	2	6,85
		½	300	28	496	1,65	10	9	1	6,92
		½	300	24	522	1,74	11	11	0	7,32
	R3	½	300	41	666	2,22	13	11	2	8,50
		½	300	29	547	1,82	15	13	2	8,32
		½	300	35	485	1,62	11	9	2	8,14
	R4	½	300	28	528	1,76	10	9	1	6,40
		½	300	26	508	1,69	14	13	1	6,10
		½	300	24	495	1,65	12	11	1	6,16
	R5	½	300	37	502	1,67	6	6	0	7,60
		½	300	39	549	1,83	8	8	0	7,20
		½	300	34	545	1,82	10	10	0	7,10
	R6	½	300	42	415	1,38	7	7	0	6,51
		½	300	37	477	1,59	6	6	0	8,32
		½	300	35	526	1,75	8	8	0	7,40
Moyenne		½	300	36.61	540.33	1.80	9.83	0.83	9	7.46

Annexe

Tableau 3. Les principaux variables étudiés au stade Tallage de la variété Waha de blé dur

Site	Rép	Poids d'échantillon		Nombre de nématodes filiformes, à kystes, degré d'infestation et longueur de racine						
		Racine (g)	Sol (g)	Racine	Sol	(L ₂ /g de sol)	NNKT H	NNKV H	NNKP H	LR (cm)
Site I	R1	½	300	33	445	1.48	21	18	3	15.05
		½	300	38	542	1.81	14	14	0	16.15
		½	300	34	486	1.62	10	10	0	17.58
	R2	½	300	43	657	2.19	15	15	0	14.76
		½	300	37	662	2.22	18	16	2	14.13
		½	300	41	637	2.12	18	17	1	15.83
	R3	½	300	37	985	3.28	5	5	0	14.74
		½	300	26	883	2.94	4	4	0	15.57
		½	300	33	1033	3.44	6	6	0	14.85
	R4	½	300	39	927	3.09	13	12	1	13.20
		½	300	26	1061	3.54	9	8	1	11.28
		½	300	33	1045	3.48	11	10	1	12.5
	R5	½	300	45	461	1.54	9	9	0	17.54
		½	300	51	504	1.68	10	10	0	17.68
		½	300	37	520	1.73	8	8	0	15.67
	R6	½	300	36	778	2.59	14	14	0	14.5
		½	300	48	786	2.62	11	10	1	15.38
		½	300	57	761	2.54	11	9	2	14.49
Moyenne		½	300	38.55	731.83	2.44	11.5	10.83	0.66	15.05
Site II	R1	½	300	31	915	3,05	14	12	2	14,63
		½	300	48	925	3,08	12	12	0	14,28
		½	300	56	814	2,71	13	12	1	14,6
	R2	½	300	55	752	2,51	13	11	2	12,39
		½	300	45	723	2,41	8	7	1	14,76
		½	300	57	768	2,56	15	14	1	14,45
	R3	½	300	41	793	2,64	26	23	3	14,62
		½	300	40	864	2,88	24	23	1	14,43
		½	300	34	710	2,37	31	29	2	14,71
	R4	½	300	53	625	2,08	2	0	0	12,31
		½	300	64	744	2,48	10	8	2	9,8
		½	300	69	836	2,79	6	1	1	14,22
	R5	½	300	56	819	2,73	10	8	2	15
		½	300	68	808	2,69	13	13	0	15,5
		½	300	76	647	2,16	7	6	1	14,63
	R6	½	300	54	624	2,08	0	0	0	13,5
		½	300	63	618	2,06	7	7	0	15,75
		½	300	55	723	2,41	8	8	0	14,56
Moyenne		½	300	53.61	761.55	2.54	12.16	10.77	1.05	14.11

Annexe

Tableau 4. Les principaux variables étudiés au stade Montaison de la variété Waha de blé dur

Site	Rép	Poids d'échantillon		Nombre de nématodes filiformes, à kystes, degré d'infestation et longueur de racine						
		Racine (g)	Sol (g)	Racine	Sol	(L ₂ /g de sol)	NNKT H	NNKV H	NNKP H	LR (cm)
Site I	R1	½	300	116	875	2,92	21	19	2	14,66
		½	300	82	957	3,19	25	22	3	15,54
		½	300	111	826	2,75	23	22	1	15,84
	R2	½	300	67	1249	4,16	37	34	3	18,12
		½	300	65	982	3,27	41	36	5	18,08
		½	300	72	1130	3,77	45	41	4	17,1
	R3	½	300	29	952	3,17	12	12	0	17,52
		½	300	48	968	3,23	12	11	1	16,6
		½	300	36	887	2,96	18	15	2	16,75
	R4	½	300	76	1510	5,03	12	12	0	14,22
		½	300	91	1528	5,09	8	8	0	14,12
		½	300	98	1570	5,23	10	6	0	15,2
	R5	½	300	57	749	2,50	16	14	2	16,72
		½	300	68	784	2,61	19	16	3	16,55
		½	300	67	750	2,50	22	21	1	16,41
	R6	½	300	64	1261	4,20	18	14	4	17,26
		½	300	56	1306	4,35	20	18	2	17,63
		½	300	69	1237	4,12	16	13	3	18,51
Moyenne		½	300	70,66	1048,5	3,495	20,83	18,55	2	16,49
Site II	R1	½	300	48	979	3,26	20	17	3	17,5
		½	300	56	996	3,32	15	14	1	18,2
		½	300	62	1198	3,99	19	17	2	18,41
	R2	½	300	61	1036	3,45	12	11	1	16,24
		½	300	66	968	3,23	18	16	2	17,6
		½	300	47	980	3,27	15	15	0	16,65
	R3	½	300	50	1360	4,53	31	27	4	15,8
		½	300	46	1275	4,25	28	26	2	15,1
		½	300	54	1342	4,47	25	22	3	16,67
	R4	½	300	20	1128	3,76	6	6	0	14,6
		½	300	28	1143	3,81	6	6	0	15,1
		½	300	37	1173	3,91	9	9	0	15,7
	R5	½	300	27	1308	4,36	8	7	1	18,6
		½	300	32	1319	4,40	10	8	2	19,4
		½	300	38	1221	4,07	6	6	0	18,7
	R6	½	300	45	931	3,10	15	13	2	16,5
		½	300	36	1117	3,72	18	14	4	16,38
		½	300	47	975	3,25	9	9	0	15,9
Moyenne		½	300	44,44	1136	3,79	15	13,5	1,5	16,83

Annexe

Tableau 5. Les principaux variables étudiés au stade Epiaison de la variété Waha de blé dur

Site	Rép	Poids d'échantillon		Nombre de nématodes filiformes, à kystes, degré d'infestation et longueur de racine						
		Racine (g)	Sol (g)	Racine	Sol	(L ₂ /g de sol)	NNKT H	NNKV H	NNKP H	LR (cm)
Site I	R1	½	300	24	1131	3,77	24	20	4	20
		½	300	28	1216	4,05	21	19	2	20
		½	300	25	1145	3,82	33	27	6	21
	R2	½	300	35	1555	5,18	41	34	7	18,7
		½	300	37	1540	5,13	35	32	3	19,58
		½	300	28	1678	5,59	29	24	5	18,5
	R3	½	300	28	1443	4,81	13	12	1	20
		½	300	24	1435	4,78	22	19	3	22,27
		½	300	34	1346	4,49	16	14	2	18,5
	R4	½	300	25	1583	5,28	9	7	2	15,6
		½	300	23	1486	4,95	14	14	0	18,4
		½	300	29	1569	5,23	16	15	1	18,1
	R5	½	300	22	1409	4,70	23	19	4	17
		½	300	18	1347	4,49	21	19	2	18,2
		½	300	26	1378	4,59	25	22	3	17,1
	R6	½	300	22	1607	5,36	33	25	8	20
		½	300	32	1618	5,39	30	25	5	18
		½	300	29	1539	5,13	24	19	5	18,8
Moyenne		½	300	27,16	1445,8	4,82	23,83	20,33	3,5	18,87
Site II	R1	½	300	16	1403	4,68	32	25	7	22
		½	300	21	1425	4,75	26	18	8	19,3
		½	300	18	1465	4,88	20	14	6	22,2
	R2	½	300	19	1267	4,22	20	14	6	19,3
		½	300	26	1318	4,39	16	14	2	17,8
		½	300	22	1357	4,52	27	23	4	21,5
	R3	½	300	45	1252	4,17	42	39	3	17,14
		½	300	38	1156	3,85	32	29	3	17,5
		½	300	43	1243	4,14	37	31	6	17
	R4	½	300	28	1259	4,20	8	6	2	19,4
		½	300	23	1324	4,41	23	20	3	19
		½	300	25	1332	4,44	14	10	4	20,1
	R5	½	300	20	1228	4,09	25	22	3	21
		½	300	26	1310	4,37	34	31	3	21,39
		½	300	31	1302	4,34	16	13	3	21,6
	R6	½	300	34	1330	4,43	12	6	6	19
		½	300	29	1316	4,39	17	14	3	20,5
		½	300	37	1242	4,14	16	13	3	19,7
Moyenne		½	300	27,83	1307,1	4,36	23,16	4,16	19	19,74

Annexe

Tableau 6. Les principaux variables étudiés au stade Maturation de la variété Waha de blé dur

Site	Rép	Poids d'échantillon		Nombre de nématodes filiformes, à kystes, degré d'infestation et longueur de racine							
		Racine (g)	Sol (g)	Racine (g)	Sol (g)	(L ₂ /g de sol)	NNK TH	NNK VH	NNKP H	DINF (kyste)	LR (cm)
Site I	R1	½	300	10	1633	5,44	67	62	5	3,19	3,19
		½	300	4	1647	5,49	44	40	4	4,02	4,02
		½	300	6	1664	5,55	72	63	9	3,65	3,65
	R2	½	300	6	1785	5,95	39	27	12	6,15	6,15
		½	300	10	1814	6,05	41	33	8	5,01	5,01
		½	300	8	1861	6,20	34	30	4	5,13	5,13
	R3	½	300	12	1736	5,79	17	13	4	2,52	2,52
		½	300	14	1743	5,81	23	19	4	2,4	2,4
		½	300	11	1807	6,02	20	16	4	2,08	2,08
	R4	½	300	5	1547	5,16	26	16	10	4,61	4,61
		½	300	11	1614	5,38	18	11	7	4,34	4,34
		½	300	14	1624	5,41	22	12	10	4,89	4,89
	R5	½	300	2	1668	5,56	20	16	4	2,5	2,5
		½	300	6	1687	5,62	27	22	5	3,22	3,22
		½	300	4	1646	5,49	13	10	3	3,17	3,17
	R6	½	300	15	1828	6,09	35	20	15	12,33	12,33
		½	300	19	1866	6,22	33	23	10	12,55	12,55
		½	300	13	1757	5,86	43	32	11	10,47	10,47
Moyenne		½	300	9,44	1718,1	5,73	33	25,83	7,16	5,12	20,3
Site II	R1	½	300	7	1753	5,84	28	22	6	5,5	5,5
		½	300	5	1736	5,79	38	26	12	4,78	4,78
		½	300	10	1782	5,94	33	24	9	4,86	4,86
	R2	½	300	26	2022	6,74	37	26	11	9,1	9,1
		½	300	17	1945	6,48	44	29	15	10,84	10,84
		½	300	22	1913	6,38	27	20	7	10,14	10,14
	R3	½	300	13	1463	4,88	30	21	9	3,1	3,1
		½	300	23	1574	5,25	27	21	6	3,14	3,14
		½	300	18	1550	5,17	39	36	3	3,21	3,21
	R4	½	300	6	1450	4,83	26	21	5	2,62	2,62
		½	300	8	1432	4,77	19	15	4	3,58	3,58
		½	300	11	1420	4,73	33	27	6	2,16	2,16
	R5	½	300	4	1477	4,92	41	38	3	1,07	1,07
		½	300	7	1556	5,19	16	14	2	2,14	2,14
		½	300	12	1530	5,10	27	23	4	1,1	1,1
	R6	½	300	10	1420	4,73	20	16	4	2,14	2,14
		½	300	7	1469	4,90	23	19	4	2,36	2,36
		½	300	2	1545	5,15	26	22	4	2,51	2,51
Moyenne		½	300	11,55	1613,3	5,38	29,66	23,33	6,33	4,13	22,87

Annexe

Tableau 7. Les paramètres morphologiques de la variété waha de blé dur.

Site	Rép	Hauteur de la tige (cm)	Longueur du col de l'épi (cm)	Longueur de l'épi (cm)	Nombre de plants/m ²	
Site I	R1	59,90	25,60	6,70	145.00	
		64,25	35,10	5,20	95.00	
		64,40	33,20	7,50	158.00	
	R2	50,50	16,66	6,60	104.00	
		61.00	24,66	5,50	128.00	
		59,50	17,66	5,14	109.00	
	R3	46,60	31,34	4,40	121.00	
		51,40	22,70	8,60	115.00	
		50,50	26,80	7,10	123.00	
	R4	67,50	25,90	6,20	133.00	
		53,50	21,84	5,20	125.00	
		55,50	23,96	4,50	130.00	
	R5	70.00	26,40	5,75	73.00	
		63.00	32,20	6,20	62.00	
		68,60	27,8	6,50	95.00	
	R6	68,50	22,48	5,10	102.00	
		65,50	34,77	4,80	93.00	
		62,50	22,80	5,35	121.00	
	Moyenne		60,14	26,21	5,9	112,88
	Ecart-type		7,20	5,40	1,11	24,02
	Site II	R1	60.00	27,69	5,50	112,60
			65.00	28,62	4,20	108,54
			68.00	28,75	5,60	92,50
		R2	50,40	24.00	4,80	119.00
57,09			25.00	5,50	124.00	
48,60			27,50	5,90	102.00	
R3		66,50	27,40	6,20	113.00	
		67,02	22,20	6,50	97.00	
		64,71	28,62	6,10	116.00	
R4		57,10	31.00	5,20	73.00	
		61,02	26,50	6,20	102.00	
		53,60	28,60	5,40	84.00	
R5		68,86	29,60	6,61	105.00	
		72,36	29,80	6,68	88.00	
		70,61	28,20	6,06	84.00	
R6		67,61	27,67	5,70	127.00	
		65,35	28,74	7,82	111.00	
		70,50	24,91	5,40	98.00	
Moyenne		63,018	27,48	5,85	103,14	
Ecart-type		7,11	8,30	0,80	16,46	

Annexe

Tableau 8. Les composants du rendement de la variété Waha de blé dur

Site	Rép	Nombre de talles/m ²	Nombre d'épi/m ²	Nombre des grains/épi	Poids de mille grains (g)	Rdt (qx /ha)	
Site I	R1	471	178	27.00	25,10	12,06	
		448	192	30.00	23,40	13,48	
		335	145	32.00	24,20	11,23	
	R2	318	172	29.00	21,34	10,64	
		365	102	32.00	25,19	8,22	
		409	111	34.00	24,44	9,22	
	R3	360	092	41.00	26.00	9,81	
		415	116	37.00	28,16	12,09	
		402	102	41.00	24,32	10,17	
	R4	228	112	39.00	28,34	12,38	
		357	105	34.00	31,42	11,22	
		315	117	36.00	22,91	9,65	
	R5	417	112	33.00	28,34	10,47	
		352	95	39.00	32,51	12,04	
		395	106	35.00	27,22	10,10	
	R6	362	114	43.00	22,14	10,85	
		308	127	37.00	26,34	12,38	
		335	102	42.00	28,48	12,20	
	Moyenne		366,22	122,22	35,61	26,1	11,01
	Ecart-type		57,55	29,61	4,65	3,05	1,35
	Site II	R1	352	123	33,22	26,7	10,91
			386	095	38,01	30,12	10,88
			404	133	31,62	29,10	12,24
		R2	339	186	24,66	27,28	12,51
367			120	36,21	29,98	13,03	
382			132	31,5	29,10	12,10	
R3		465	157	42	20,11	13,26	
		443	88	60,43	22,50	11,97	
		319	155	34	25,60	13,49	
R4		326	138	40,81	24,03	13,53	
		260	146	36,5	26,51	14,13	
		174	148	32,67	24,23	11,72	
R5		427	176	25	23.00	10,12	
		392	122	37,24	21.00	9,54	
		419	151	35,1	28.00	14,84	
R6		371	116	42,66	27,40	13,56	
		415	105	45,8	29,22	14,05	
		420	094	46,31	29,40	12,80	
Moyenne		370,05	132,5	37,43	26,29	13,24	
Ecart-type		69,84	27,56	8,35	3,15	1,44	

Annexe

Annexe II. Tableaux d'analyses de variances

Tableau 09. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur les variations du nombre de kystes totaux entre la période (Levée à Maturation).

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreu r	DL Erreu r	MC Erreu r	F	P	cv
Nématode à kyste total (NKTH) (Site I)	2326.80	4	581.700	1248.80	20	62.440	9.32	0.0002***	40.45
Nématodes à kystes total (NKTH) (Site II)	1635.13	4	408.783	361.67	20	18.083	22.61	0.0000***	23.67

Tableau 10. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur les variations du nombre de kystes vides entre la période (levée à maturation).

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreur	DL Erreu r	MC Erreu r	F	P	cv
Nématodes à kystes vides (NKV) (Site I)	1267.53	4	316.883	1163.07	20	56.803	5.58	0.0035***	44.95
Nématodes à kystes vides (NKV) (Site II)	849.800	4	212.450	330.600	20	16.530	12.85	0.0000***	26.17

Tableau 11. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur les variations du nombre de kystes pleins entre la période (levée à maturation).

Variable	SC Effe t	DL Effet	MC Effet	SC Erreu r	DL Erreur	MC Erreu r	F	P	cv
Nématodes à kystes pleins (NKP) (Site I)	4	180.200	45.0500	20	43.800	2.1900	20.57	0.0000***	53.49
Nématodes à kystes pleins (NKP) (Site II)	4	132.333	33.0833	20	42.867	2.1433	15.44	0.0000***	51.67

Annexe

Tableau 12. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des stades végétatifs sur l'évolution de la densité de nématodes phytoparasites dans les racines.

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreur	DL Erreu r	MC Erreu r	F	P	CV
Nématodes filiformes de racine (NFR) (site I)	11982.0	4	2995.50	2741.0	20	137.05	21.86	0.0000***	33.20
Nématodes filiformes de racine (NFR) (site II)	6762.69	4	1690.67	1406.63	20	70.33	24.04	0.0000***	24.81

Tableau 13. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des stades végétatifs sur l'évolution de la densité de nématodes phytoparasites et libres dans le sol.

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreu r	DL Erreu r	MC Erreu r	F	P	cv
Nématodes filiformes du sol (NFS) (Site I)	4693837	4	1173459	53845	20	326923	43.59	0.0000***	14.38
Nématodes filiforme du sol (NFS) (Site II)	4365699	4	1091425	314847	20	15742	69.33	0.0000***	11.71

Tableau 14. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des stades végétatifs sur l'évolution de degré d'infestation dans le sol.

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreu r	DL Erreu r	MC Erreu r	F	P	cv
Degré d'infestation (L ₂ /g de sol) (Site I)	50.340	4	12.5851	6.1534	20	0.3077	40.90	0.0000***	14.51
Degré d'infestation (L ₂ /g de sol) (Site II)	47.8315	4	11.9579	3.1528	20	0.1576	75.86	0.0000***	11.14

Tableau 15. Analyse de la variance au seuil de 5% pour la longueur de racines

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreur	DL Erreu r	MC Erreu r	F	P	CV
Longueur de racine (Site I)	529.00	4	132.25	31.903	20	1.595	82.91	0.0000***	08
Longueur de racine (Site II)	846.58	4	211.64	15.479	20	0.774	273.4	0.0000***	5.41

Annexe

Tableau 16. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de sites sur les variations du moyennes de kystes pleins, vides et totaux dans la période Levée.

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P	cv
Nématode à kystes pleins (NKPH) (Site I)	0.00000	1	0.00000	1.00000	5	0.20000	0.00	1.0000	89.4
Nématodes à kystes vides (NKVH) (Site II)	5.3333	1	5.3333	28.6667	5	5.7333	0.93	0.3791	35.04
Nématodes à kystes total (NKTH)	0.333	1	0.3333	14.667	5	2.9333	0.11	0.7497	20.97

I. Les résultats d'analyses de la variance des principaux variables étudiées dans les deux sites de la variété Flipp du pois chiche. (Campagne 2017-2018).

Tableau 17. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de sites sur les variations du moyennes de kystes pleins, vides et totaux dans la période Maturation.

Variable	SC Effet	DL Effe t	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P	cv
Nématodes à kystes pleins (NKP)	18.7500	1	18.7500	8.7500	5	1.7500	10.71	0.0221*	28.86
Nématodes à kystes vides (NKV)	5.333	1	5.3333	197.667	5	39.5333	0.13	0.7284	29.70
Nématodes à kystes totaux (NKT)	14.083	1	14.0833	238.417	5	47.6833	0.30	0.6102	27.53

Tableau 18. Analyse de la variance au seuil de 5% pour l'effet de nématodes à kystes sur le développement du système racinaire au stade maturation des deux sites.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P	CV
Longueur de racine (LR)	38.988	1	38.9881	25.5106	5	5.1021	7.64	0.0396*	15.77

Annexe

Tableau 19. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade tallage avec les paramètres de croissances dans le premier site.

	NNFR	NNFS	DINF	NNKT	NNKV	NNKP	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NE/ m ²	NG/EP	PMG	RDT	CACO ₃	CE	CO	MO	PH
NNFR	1	-,363	-,362	,150	,148	,092	,383	,396	,145	-,314	-,505*	-,263	-,108	,223	,185	,189	-,175	,333	,142	-,317	,362
NNFS	-,363	1	1,000**	-,440	-,485*	-,043	-,762**	-,576*	-,222	-,227	,301	-,418	-,444	,551*	,034	-,144	-,499*	-,497*	-,090	,311	-,128
DINF	-,362	1,000**	1	-,440	-,485*	-,043	-,763**	-,575*	-,222	-,228	,301	-,419	-,444	,551*	,035	-,143	-,499*	-,497*	-,090	,313	-,127
NNKT	,150	-,440	-,440	1	,985**	,633**	-,072	,291	-,281	-,220	,170	,110	,490*	-,537*	-,379	-,069	,555*	,378	,193	-,074	,647**
NNKV	,148	-,485*	-,485*	,985**	1	,491*	,005	,315	-,266	-,206	,090	,115	,528*	-,547*	-,440	-,075	,590*	,394	,258	-,104	,642**
NNKP	,092	-,043	-,043	,633**	,491*	1	-,387	,058	-,225	-,189	,454	,040	,104	-,255	,061	-,013	,159	,141	-,183	,095	,392
LR	,383	-,762**	-,763**	-,072	,005	-,387	1	,364	,443	,356	-,436	,370	,174	-,148	,030	,169	,074	,255	-,041	-,533*	-,128
HT	,396	-,576*	-,575*	,291	,315	,058	,364	1	,294	-,101	-,304	-,072	,054	-,026	,127	,253	,236	,208	-,328	-,143	,114
LCE	,145	-,222	-,222	-,281	-,266	-,225	,443	,294	1	-,071	-,147	,029	,108	,059	,172	,405	,027	-,091	-,441	-,219	-,378
LEP	-,314	-,227	-,228	-,220	-,206	-,189	,356	-,101	-,071	1	,190	,203	,179	-,192	,090	,210	,073	-,259	,152	-,203	-,310
NP/ m ²	-,505*	,301	,301	,170	,090	,454	-,436	-,304	-,147	,190	1	-,148	,150	-,150	-,299	-,132	,217	-,279	-,097	,038	,114
NT/m ²	-,263	-,418	-,419	,110	,115	,040	,370	-,072	,029	,203	-,148	1	,303	-,384	-,094	-,020	,076	,316	-,209	,056	-,186
NE/m ²	-,108	-,444	-,444	,490*	,528*	,104	,174	,054	,108	,179	,150	,303	1	-,734**	-	,451	,529*	,229	,419	-,138	,192
NG/EP	,223	,551*	,551*	-,537*	-,547*	-,255	-,148	-,026	,059	-,192	-,150	-,384	-,734**	1	,249	-,003	-,762**	-,328	-,354	-,101	-,119
PMG	,185	,034	,035	-,379	-,440	,061	,030	,127	,172	,090	-,299	-,094	-,514*	,249	1	,281	-,152	-,234	-,389	,439	,638
RDT	,189	-,144	-,143	-,069	-,075	-,013	,169	,253	,405	,210	-,132	-,020	,451	-,003	,281	1	-,023	-,173	-,068	,038	,048
CACO	-,175	-,499*	-,499*	,555*	,590*	,159	,074	,236	,027	,073	,217	,076	,529*	-,762**	-,152	-,023	1	,115	,168	,088	,456
CE	,333	-,497*	-,497*	,378	,394	,141	,255	,208	-,091	-,259	-,279	,316	,229	-,328	-,234	-,173	,115	1	,203	,081	,870
CO	,142	-,090	-,090	,193	,258	-,183	-,041	-,328	-,441	,152	-,097	-,209	,419	-,354	-,389	-,068	,168	,203	1	-,018	,011
MO	-,317	,311	,313	-,074	-,104	,095	-,533*	-,143	-,219	-,203	,038	-,056	-,138	-,101	,439	,038	,088	,081	-,018	1	,160
PH	,362	-,128	-,127	,647**	,642**	,392	-,128	,114	-,378	-,310	,114	-,186	,192	-,119	-	-,188	,041	,586*	,345	-,076	1

Annexe

Tableau 20. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade tallage avec les paramètres de croissances dans le deuxième site.

	NNFR	NNFS	DINF	NNKT	NNKV	NNKP	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NE/ m ²	NG/EP	PMG	RDT	CACO ₃	CE	CO	MO	pH
NNFR	1	-,350	-,350	-,590**	-,592**	-,375	-,116	,076	-,243	,202	-,540*	-,198	,156	-,191	,087	,136	,029	,214	-,587*	-,536	0,399
NNFS	-,350	1	1,000**	,403	,373	,292	,161	-,035	,267	-,299	-,034	-,011	-,108	-,116	-,200	-,765**	-,489*	-,386	-,068	-,089	-,271
DINF	-,350	1,000**	1	,403	,373	,292	,161	-,035	,267	-,299	-,034	-,011	-,108	-,116	-,200	-,765**	-,489*	-,386	-,068	-,089	-,271
NNKT	-,590**	,403	,403	1	,987**	,595**	,216	,081	,350	,161	,188	,244	,119	,113	-,373	-,123	-,096	,135	,197	,189	-,695**
NNKV	-,592**	,373	,373	,987**	1	,504*	,260	,158	,366	,185	,209	,347	,020	,171	-,306	-,124	-,123	,113	,219	,212	-,695**
NNKP	-,375	,292	,292	,595**	,504*	1	-,192	-,202	-,070	,059	,347	-,048	,677**	-,382	-,361	,037	-,086	-,014	,119	,115	-,323
LR	-,116	,161	,161	,216	,260	-,192	1	,375	,107	,329	-,010	,510*	-,284	,108	-,025	-,357	-,327	,014	,003	,022	-,332
HT	,076	-,035	-,035	,081	,158	-,202	,375	1	,201	,383	-,171	,562*	-,309	,382	-,211	-,058	-,655**	,505*	-,005	,032	-,545**
LCE	-,243	,267	,267	,350	,366	-,070	,107	,201	1	,257	-,197	,255	-,400	,681**	-,380	-,139	-,202	,295	,119	,107	-,594**
LEP	,202	-,299	-,299	,161	,185	,059	,329	,383	,257	1	-,084	,305	-,036	,285	-,326	,127	-,134	,544*	-,019	,008	-,407
NP/ m ²	-,540*	-,034	-,034	,188	,209	,347	-,010	-,171	-,197	-,084	1	,132	,036	-,074	,357	,200	,254	-,306	,676**	,673**	,017
NT/m ²	-,198	-,011	-,011	,244	,347	-,048	,510*	,562*	,255	,305	,132	1	-,272	,342	-,037	-,059	-,472*	-,001	,258	,281	-,457
NE/m ²	,156	-,108	-,108	,119	,020	,677**	-,284	-,309	-,400	-,036	,036	-,272	1	-,753**	-,308	,073	,016	,037	-,257	-,252	,098
NG/EP	-,191	-,116	-,116	,113	,171	-,382	,108	,382	,681**	,285	-,074	,342	-,753**	1	-,145	,236	,041	,438	,433	,439	-,489*
PMG	,087	-,200	-,200	-,373	-,306	-,361	-,025	-,211	-,380	-,326	,357	-,037	-,308	-,145	1	,306	,374	,555*	,000	-,012	-,645**
RDT	,136	-,765**	-,765**	-,123	-,124	,037	-,357	-,058	-,139	,127	,200	-,059	,073	,236	,306	1	,550*	,305	,250	,256	,093
CACO ₃	,029	-,489*	-,489*	-,096	-,123	-,086	-,327	,655*	-,202	-,134	,254	-,472*	,016	,041	,374	,550*	1	-,032	,150	,134	,487*
CE	,214	-,386	-,386	,135	,113	-,014	,014	,505*	,295	,544*	-,306	-,001	,037	,438	,555*	,305	-,032	1	-,064	,031	-,533*
CO	-,587*	-,068	-,068	,197	,219	,119	,003	-,005	,119	-,019	,676**	,258	-,257	,433	,000	,250	,150	-,064	1	,998**	-,320
MO	-,563*	-,089	-,089	,189	,212	,115	,022	,032	,107	,008	,673**	,281	-,252	,439	-,012	,256	,134	-,031	,998**	1	-,335
pH	,399	-,271	-,271	-,695**	-,695**	-,323	-,332	-,545*	-,594**	-,407	,017	-,457	,098	-,489*	,641*	,093	,487*	-,533*	-,320	-,335	1

Annexe

Tableau 21. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade montaison avec les paramètres de croissances dans le site I.

	NNFR	NNFS	DINF	NKT	NKV	NKP	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NEP/m ²	NGEP	PMG	RDT
NFR	1	,189	,189	,041	,041	-,102	-,604**	,284	-,018	,050	,447	,019	,519*	-,581*	-,095	,219
NFS	,189	1	1,000**	-,227	-,247	-,240	-,229	-,138	-,393	-,444	,262	-,639**	-,065	,198	-,082	,063
DINF	,189	1,000**	1	-,227	-,247	-,240	-,229	-,138	-,393	-,444	,262	-,639**	-,065	,198	-,082	,063
NKT	,041	-,227	-,227	1	,992**	,752**	,454	,066	-,274	-,001	-,063	,192	,270	-,468	-,440	-,408
NKV	,041	-,247	-,247	,992**	1	,688**	,420	,054	-,255	,039	-,038	,181	,281	-,498*	-,403	-,385
NKP	-,102	-,240	-,240	,752**	,688**	1	,599**	,259	-,204	-,099	-,316	,283	,127	-,115	-,283	-,180
LR	-,604**	-,229	-,229	,454	,420	,599**	1	-,088	-,130	-,119	-,323	-,014	-,228	,272	-,228	-,325
HT	,284	-,138	-,138	,066	,054	,259	-,088	1	,294	-,101	-,304	-,072	,054	-,026	,127	,253
LCE	-,018	-,393	-,393	-,274	-,255	-,204	-,130	,294	1	-,071	-,147	,029	,108	,059	,172	,405
LEP	,050	-,444	-,444	-,001	,039	-,099	-,119	-,101	-,071	1	,190	,203	,179	-,192	,090	,210
NP/m ²	,447	,262	,262	-,063	-,038	-,316	-,323	-,304	-,147	,190	1	-,148	,150	-,150	-,299	-,132
NT/m ²	,019	-,639**	-,639**	,192	,181	,283	-,014	-,072	,029	,203	-,148	1	,303	-,384	-,094	-,020
NEP/m ²	,519*	-,065	-,065	,270	,281	,127	-,228	,054	,108	,179	,150	,303	1	,734**	-,514*	,451
NG/EP	-,581*	,198	,198	-,468	-,498*	-,115	,272	-,026	,059	-,192	-,150	-,384	-,734**	1	,249	-,003
PMG	-,095	-,082	-,082	-,440	-,403	-,283	-,228	,127	,172	,090	-,299	-,094	-,514*	,249	1	,281
RDT	,219	,063	,063	-,408	-,385	-,180	-,325	,253	,405	,210	-,132	-,020	,451	-,003	,281	1

Tableau 22. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade montaison avec les paramètres de croissances dans le site II.

	NFR	NFS	DINF	NKT	NKV	NKP	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NEP/m ²	NG/EP	PMG	RDT
NNFR	1	,442	,442	,656**	,676**	,395	,646**	,516*	,350	,383	,778**	,583**	,418	,407	,723**	,567*
NNFS	,442	1	1,000**	,475*	,479*	,342	,845**	,880**	,689**	,881**	,621**	,732**	,776**	,653**	,621**	,769**
DINF	,442	1,000**	1	,475*	,479*	,342	,845**	,880**	,689**	,881**	,621**	,732**	,776**	,653**	,621**	,769**
NNKT	,656**	,475*	,475*	1	,993**	,798**	,361	,417	,548*	,447	,590**	,552*	,193	,547*	,297	,383
NNKV	,676**	,479*	,479*	,993**	1	,721**	,362	,411	,584**	,429	,588**	,549*	,200	,562*	,316	,397
NNKP	,395	,342	,342	,798**	,721**	1	,270	,345	,237	,431	,455	,805**	,719**	,584**	,863**	,778**
LR	,646**	,845**	,845**	,361	,362	,270	1	,909**	,543*	,822**	,764**	,856**	,589**	,769**	,763**	,799**
HT	,516*	,880**	,880**	,417	,411	,345	,909**	1	,648**	,863**	,704**	,625**	,282	,826**	,444	,533*
LCE	,350	,689**	,689**	,548*	,584**	,237	,543*	,648**	1	,657**	,448	,771**	,637**	,727**	,697**	,805**
LEP	,383	,881**	,881**	,447	,429	,431	,822**	,863**	,657**	1	,691**	,583**	,418	,407	,723**	,567*
NP/m ²	,778**	,621**	,621**	,590**	,588**	,455	,764**	,704**	,448	,691**	1	,692**	,633**	,572*	,828**	,791**
NT/m ²	,583**	,732**	,732**	,552*	,549*	,432	,805**	,856**	,625**	,771**	,692**	1	,474*	,714**	,686**	,685**
NEP/m ²	,418	,776**	,776**	,193	,200	,107	,719**	,589**	,282	,637**	,633**	,474*	1	,203	,577**	,695**
NG/EP	,407	,653**	,653**	,547*	,562*	,337	,584**	,769**	,826**	,727**	,572*	,714**	,203	1	,603**	,724**
PMG	,723**	,621**	,621**	,297	,316	,130	,863**	,763**	,444	,697**	,828**	,686**	,577**	,603**	1	,862**
RDT	,567*	,769**	,769**	,383	,397	,218	,778**	,799**	,533*	,805**	,791**	,685**	,695**	,724**	,862**	1

Annexe

Tableau 23. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade épiaison avec les paramètres de croissances dans le site I.

	NNFR	NNFS	DINF	NKT	NKV	NKP	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NEP/m ²	NGEP	PMG	RDT
NNFR	1	-,627**	-,627**	,273	-,302	,338	-,690**	,387	,283	,289	,098	,279	-,157	,611**	-,351	,444
NNFS	-,627**	1	1,000**	-,146	,562*	-,260	,559*	-,139	-,469*	-,341	,034	-,199	-,140	-,397	,540*	-,152
DINF	-,627**	1,000**	1	-,146	,562*	-,260	,559*	-,139	-,469*	-,341	,034	-,199	-,140	-,397	,540*	-,152
NKT	,273	-,146	-,146	1	,191	,981**	-,229	,202	,242	,238	,143	,314	,078	,046	-,493*	-,371
NKV	-,302	,562*	,562*	,191	1	-,004	,130	-,083	-,167	-,513*	,393	-,125	-,028	-,298	,335	-,256
NKP	,338	-,260	-,260	,981**	-,004	1	-,259	,222	,279	,344	,067	,345	,085	,106	-,569*	-,327
LR	-,690**	,559*	,559*	-,229	,130	-,259	1	,043	-,266	,072	-,426	,031	,037	-,426	,239	-,335
HT	,387	-,139	-,139	,202	-,083	,222	,043	1	,201	,383	-,171	,562*	-,309	,382	-,211	-,058
LCE	,283	-,469*	-,469*	,242	-,167	,279	-,266	,201	1	,257	-,197	,255	-,400	,681**	-,380	-,139
LEP	,098	,034	,034	,143	,393	,067	-,426	-,171	-,197	1	-,084	,305	-,036	,285	-,326	,127
NP/m ²	,279	-,199	-,199	,314	-,125	,345	,031	,562*	,255	-,084	1	,132	,036	-,074	,357	,200
NT/m ²	-,157	-,140	-,140	,078	-,028	,085	,037	-,309	-,400	,305	,132	1	-,272	,342	-,037	-,059
NEP/m ²	,611**	-,397	-,397	,046	-,298	,106	-,426	,382	,681**	-,036	,036	-,272	1	-,753**	-,308	,073
NG/EP	-,351	,540*	,540*	-,493*	,335	-,569*	,239	-,211	-,380	,285	-,074	,342	-,753**	1	-,145	,236
PMG	,444	-,152	-,152	-,371	-,256	-,327	-,335	-,058	-,139	-,326	,357	-,037	-,308	-,145	1	,306
RDT	,098	,034	,034	,143	,393	,067	-,426	-,171	-,197	,127	,200	-,059	,073	,236	,306	1

Tableau 24. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade épiaison avec les paramètres de croissances dans le site II.

	NNFR	NNFS	DINF	NNK T	NNK V	NNK P	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NEP/m ²	NG/EP	PMG	RDT
NNFR	1	,284	,284	,332	,386	,089	,008	-,358	-,158	-,132	,263	-,144	,121	-,147	-,542*	-,403
NNFS	,284	1	1,000**	,094	,068	,153	-,369	-,037	-,527*	-,474*	-,189	-,529*	-,471*	,420	-,044	-,345
DINF	,284	1,000**	1	,094	,068	,153	-,369	-,037	-,527*	-,474*	-,189	-,529*	-,471*	,420	-,044	-,345
NNKT	,332	,094	,094	1	,984**	,825**	,308	,194	-,221	,133	-,093	,090	,343	-,375	-,483*	-,215
NNKV	,386	,068	,068	,984**	1	,709**	,319	,133	-,194	,119	-,100	,122	,331	-,444	-,447	-,273
NNKP	,089	,153	,153	,825**	,709**	1	,205	,343	-,255	,150	-,047	-,032	,300	-,073	-,488*	,018
LR	,008	-,369	-,369	,308	,319	,205	1	-,385	,054	,338	,312	,451	,285	-,130	-,280	,077
HT	-,358	-,037	-,037	,194	,133	,343	-,385	1	,294	-,101	-,304	-,072	,054	-,026	,127	,253
LCE	-,158	-,527*	-,527*	-,221	-,194	-,255	,054	,294	1	-,071	-,147	,029	,108	,059	,172	,405
LEP	-,132	-,474*	-,474*	,133	,119	,150	,338	-,101	-,071	1	,190	,203	,179	-,192	,090	,210
NP/m ²	,263	-,189	-,189	-,093	-,100	-,047	,312	-,304	-,147	,190	1	-,148	,150	-,150	-,299	-,132
NT/m ²	-,144	-,529*	-,529*	,090	,122	-,032	,451	-,072	,029	,203	-,148	1	,303	-,384	-,094	-,020
NEP/m ²	,121	-,471*	-,471*	,343	,331	,300	,285	,054	,108	,179	,150	,303	1	-,734**	-,514*	,451
NG/EP	-,147	,420	,420	-,375	-,444	-,073	-,130	-,026	,059	-,192	-,150	-,384	-,734**	1	,249	-,003
PMG	-,542*	-,044	-,044	-,483*	-,447	-,488*	-,280	,127	,172	,090	-,299	-,094	-,514*	,249	1	,281
RDT	-,403	-,345	-,345	-,215	-,273	,018	,077	,253	,405	,210	-,132	-,020	,451	-,003	,281	1

Annexe

Tableau 25. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade maturation avec les paramètres de croissances dans le site I.

	NNFR	NNFS	DINF	NNKT	NNKV	NNKP	DINFK	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NEP/m ²	NG/EP	PMG	RDT
NNFR	1	,494*	,494*	-,054	-,144	,391	,582*	,212	-,318	-,066	,294	,370	,428	,127	,428	-,014	-
NNFS		1	,1,000*	,020	-,022	,187	,498*	,117	-,173	-,205	-,245	,216	-,161	-,237	,445	-,113	-
DINF			1	,020	-,022	,187	,498*	,117	-,173	-,205	-,124	-,202	,097	,242	,242	-,350	-
NNKT				1	,976**	,266	,164	,354	,203	,132	,221	,475*	,146	,642**	-,492*	-,362	,260
NNKV					1	,050	-,005	,351	,170	,196	,283	,447	,298	,649**	-,559*	-,298	,255
NNKP						1	,773**	,067	,180	-,264	-,236	,201	-,651**	,072	,221	-,339	,066
DINFK							1	-,054	,337	-,089	-,435	-,110	-,382	-,006	,333	-,211	,182
LR								1	-,375	,224	,370	,428	,127	,428	-,014	-,500*	,260
HT									1	,294	-,101	-,304	-,072	,054	-,026	,127	,253
LCE										1	-,071	,190	,029	,108	,059	,172	,405
LEP											1	,190	,203	,179	-,192	,090	,210
NP/m ²												1	-,148	,150	-,299	-,132	-
NT/m ²													1	,303	-,094	-,020	-
NEP/m ²														1	-,734**	,451	-
NG/EP															1	-,003	-
PMG																1	,281
RDT																	1

Annexe

Tableau 26. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade maturation avec les paramètres de croissances dans le site II.

	NNFR	NNFS	DINF	NNKT	NNKV	NNKP	DINFK	LR	HT	LCE	LEP	NP/m ²	NT/m ²	NEP/m ²	NG/EP	PMG	RDT
NNFR	1	,545*	,545*	,264	,118	,373	,596**	-,160	-,520*	-,577*	-,057	,284	-,027	,251	,166	-,017	-,031
NNFS		1	1,000*	,467	,177	,719**	,910**	,284	-,514*	-,387	-,445	,342	,099	,054	-,214	1	-,385
DINF			1	,467	,177	,719**	,910**	,284	-,514*	-,387	-,445	,342	,099	,054	-,214	,486*	-,017
NNKT				1	,897**	,604**	,397	,115	-,264	-,108	-,394	,314	-,028	,329	,196	-,157	-,214
NNKV					1	,189	,076	-,041	-,083	,070	-,170	,183	-,058	,424	,034	-,177	-,177
NNKP						1	,745**	,330	-,437	-,367	-,570*	,368	,043	-,034	-,148	-,029	-,029
DINFK							1	,070	-,706**	-,413	-,386	,423	-,065	,050	,457	-,049	-,049
LR								1	,273	-,180	-,250	,032	,349	-,152	,095	-,296	-,296
HT									1	,155	,383	-,096	,562*	-,309	-,211	-,058	-,058
LCE										1	,107	-,374	,155	,217	-,146	-,141	-,141
LEP											1	-,020	,305	-,036	-,326	,127	,127
NP/m ²												1	,169	-,013	,276	,076	,076
NT/m ²													1	-,272	-,037	-,059	-,059
NEP/m ²														1	-,308	,073	,073
NG/EP															1	-,236	-,236
PMG																1	-,306
RDT																	1

Annexe

Tableau 27. Matrice de corrélation des principaux genres de nématodes trouvés dans les racines du premier site

	PRATY	LONG	DITY	SAPR
Corrélation de Pearson	1	-,244	-,409	-,310
PRATY Sig. (bilatérale)		,641	,420	,550
N	6	6	6	6
Corrélation de Pearson	-,244	1	-,680	-,207
DORY Sig. (bilatérale)	,641		,137	,694
N	6	6	6	6
Corrélation de Pearson	-,409	-,680	1	,667
DITY Sig. (bilatérale)	,420	,137		,148
N	6	6	6	6
Corrélation de Pearson	-,310	-,207	,667	1
SAPR Sig. (bilatérale)	,550	,694	,148	
N	6	6	6	6

Tableau 28. Matrice de corrélation des principaux genres de nématodes trouvés dans la racine du deuxième site.

	PRATY	LONG	DITY	SAPR
Corrélation de Pearson	1	,324	-,932**	-,245
PRATY Sig. (bilatérale)		,532	,007	,640
N	6	6	6	6
Corrélation de Pearson	,324	1	-,528	-,949**
DORY Sig. (bilatérale)	,532		,282	,004
N	6	6	6	6
Corrélation de Pearson	-,932**	-,528	1	,365
DITY Sig. (bilatérale)	,007	,282		,477
N	6	6	6	6
Corrélation de Pearson	-,245	-,949**	,365	1
SAPR Sig. (bilatérale)	,640	,004	,477	
N	6	6	6	6

** : La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Annexe

Tableau 29. Matrice de corrélation des principaux genres de nématodes trouvés dans le sol du premier site.

		PRATY	LONG	DITY	SAPR
PRATY	Corrélation de Pearson	1	,343	-,840*	-,059
	Sig. (bilatérale)		,506	,036	,912
	N	6	6	6	6
DORY	Corrélation de Pearson	,343	1	-,612	-,686
	Sig. (bilatérale)	,506		,196	,132
	N	6	6	6	6
DITY	Corrélation de Pearson	-,840*	-,612	1	,000
	Sig. (bilatérale)	,036	,196		1,000
	N	6	6	6	6
SAPR	Corrélation de Pearson	-,059	-,686	,000	1
	Sig. (bilatérale)	,912	,132	1,000	
	N	6	6	6	6

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Tableau 30. Matrice de corrélation des principaux genres de nématodes trouvés dans le deuxième site.

		PRATY	LONG	DITY	SAPR
PRATY	Corrélation de Pearson	1	-,671	-,576	-,114
	Sig. (bilatérale)		,145	,232	,830
	N	6	6	6	6
DORY	Corrélation de Pearson	-,671	1	-,045	-,147
	Sig. (bilatérale)	,145		,933	,781
	N	6	6	6	6
DITY	Corrélation de Pearson	-,576	-,045	1	-,304
	Sig. (bilatérale)	,232	,933		,558
	N	6	6	6	6
SAPR	Corrélation de Pearson	-,114	-,147	-,304	1
	Sig. (bilatérale)	,830	,781	,558	
	N	6	6	6	6

Annexe

Tableau 31. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade levée du pois chiche avec les paramètres édaphiques et de croissances.

		KT	KP	KV	DNF	Caco3	CE	CO	MO	pH	LR	NPM2	NTM2	NGP	RDT
KT	Corrélation de Pearson	1	,264	,521	,323	-,059	,217	,356	,365	,117	-,195	,106	,056	-,698 [†]	-,570
	Sig. (bilatérale)		,407	,082	,305	,855	,499	,256	,244	,717	,544	,743	,862	,012	,053
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
KP	Corrélation de Pearson	,264	1	-,175	,919 ^{**}	,112	,204	,085	,087	-,183	-,536	-,403	-,495	-,140	,177
	Sig. (bilatérale)	,407		,586	,000	,730	,524	,793	,788	,569	,072	,194	,102	,664	,582
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
KV	Corrélation de Pearson	,521	-,175	1	-,309	,225	,245	-,055	-,050	,198	,369	-,045	,226	-,140	-,310
	Sig. (bilatérale)	,082	,586		,328	,481	,443	,865	,878	,538	,238	,891	,479	,664	,326
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
DNF	Corrélation de Pearson	,323	,919 ^{**}	-,309	1	,136	,310	,091	,093	-,158	-,528	-,177	-,356	-,237	,104
	Sig. (bilatérale)	,305	,000	,328		,673	,326	,779	,773	,624	,078	,582	,256	,458	,748
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Caco3	Corrélation de Pearson	-,059	,112	,225	,136	1	,817 ^{**}	-,877 ^{**}	-,875 ^{**}	,459	,374	-,084	,042	,118	,210
	Sig. (bilatérale)	,855	,730	,481	,673		,001	,000	,000	,133	,231	,795	,898	,714	,513
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CE	Corrélation de Pearson	,217	,204	,245	,310	,817 ^{**}	1	-,578 [†]	-,572	,579 [†]	,343	,263	-,006	-,131	-,012
	Sig. (bilatérale)	,499	,524	,443	,326	,001		,049	,052	,048	,276	,408	,984	,685	,970
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CO	Corrélation de Pearson	,356	,085	-,055	,091	-,877 ^{**}	-,578 [†]	1	1,000 ^{**}	-,564	-,598 [†]	-,023	-,179	-,257	-,332
	Sig. (bilatérale)	,256	,793	,865	,779	,000	,049		,000	,056	,040	,944	,577	,419	,292
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
MO	Corrélation de Pearson	,365	,087	-,050	,093	-,875 ^{**}	-,572	1,000 ^{**}	1	-,558	-,596 [†]	-,020	-,182	-,265	-,335
	Sig. (bilatérale)	,244	,788	,878	,773	,000	,052	,000		,059	,041	,950	,570	,406	,287
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
pH	Corrélation de Pearson	,117	-,183	,198	-,158	,459	,579 [†]	-,564	-,558	1	,651 [†]	,479	,066	-,360	-,269
	Sig. (bilatérale)	,717	,569	,538	,624	,133	,048	,056	,059		,022	,115	,837	,250	,398
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
LR	Corrélation de Pearson	-,195	-,536	,369	-,528	,374	,343	-,598 [†]	-,596 [†]	,651 [†]	1	,534	,491	,210	,176
	Sig. (bilatérale)	,544	,072	,238	,078	,231	,276	,040	,041	,022		,073	,105	,512	,583
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
NPM2	Corrélation de Pearson	,106	-,403	-,045	-,177	-,084	,263	-,023	-,020	,479	,534	1	,392	-,151	-,169
	Sig. (bilatérale)	,743	,194	,891	,582	,795	,408	,944	,950	,115	,073		,208	,639	,599
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
NTM2	Corrélation de Pearson	,056	-,495	,226	-,356	,042	-,006	-,179	-,182	,066	,491	,392	1	,126	-,109
	Sig. (bilatérale)	,862	,102	,479	,256	,898	,984	,577	,570	,837	,105	,208		,697	,735
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
NGP	Corrélation de Pearson	-,698 [†]	-,140	-,140	-,237	,118	-,131	-,257	-,265	-,360	,210	-,151	,126	1	,791 ^{**}
	Sig. (bilatérale)	,012	,664	,664	,458	,714	,685	,419	,406	,250	,512	,639	,697		,002
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
RDT	Corrélation de Pearson	-,570	,177	-,310	,104	,210	-,012	-,332	-,335	-,269	,176	-,169	-,109	,791 ^{**}	1
	Sig. (bilatérale)	,053	,582	,326	,748	,513	,970	,292	,287	,398	,583	,599	,735	,002	
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Annexe

Tableau 32. Matrice de corrélations des principaux paramètres étudiés au stade Maturation du pois chiche avec les paramètres édaphiques et de croissances.

		KT	KP	KV	DNF	Caco3	CE	CO	MO	pH	LR	NPM2	NTM2	NGP	RDT
KT	Corrélation de Pearson	1	,264	,521	,323	-,059	,217	,356	,365	,117	-,195	,106	,056	-,698*	-,570
	Sig. (bilatérale)		,407	,082	,305	,855	,499	,256	,244	,717	,544	,743	,862	,012	,053
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
KP	Corrélation de Pearson	,264	1	-,175	,919**	,112	,204	,085	,087	-,183	-,536	-,403	-,495	-,140	,177
	Sig. (bilatérale)	,407		,586	,000	,730	,524	,793	,788	,569	,072	,194	,102	,664	,582
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
KV	Corrélation de Pearson	,521	-,175	1	-,309	,225	,245	-,055	-,050	,198	,369	-,045	,226	-,140	-,310
	Sig. (bilatérale)	,082	,586		,328	,481	,443	,865	,878	,538	,238	,891	,479	,664	,326
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
DNF	Corrélation de Pearson	,323	,919**	-,309	1	,136	,310	,091	,093	-,158	-,528	-,177	-,356	-,237	,104
	Sig. (bilatérale)	,305	,000	,328		,673	,326	,779	,773	,624	,078	,582	,256	,458	,748
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Caco3	Corrélation de Pearson	-,059	,112	,225	,136	1	,817**	-,877**	-,875**	,459	,374	-,084	,042	,118	,210
	Sig. (bilatérale)	,855	,730	,481	,673		,001	,000	,000	,133	,231	,795	,898	,714	,513
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CE	Corrélation de Pearson	,217	,204	,245	,310	,817**	1	-,578*	-,572	,579*	,343	,263	-,006	-,131	-,012
	Sig. (bilatérale)	,499	,524	,443	,326	,001		,049	,052	,048	,276	,408	,984	,685	,970
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CO	Corrélation de Pearson	,356	,085	-,055	,091	-,877**	-,578*	1	1,000**	-,564	-,598*	-,023	-,179	-,257	-,332
	Sig. (bilatérale)	,256	,793	,865	,779	,000	,049		,000	,056	,040	,944	,577	,419	,292
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
MO	Corrélation de Pearson	,365	,087	-,050	,093	-,875**	-,572	1,000**	1	-,558	-,596*	-,020	-,182	-,265	-,335
	Sig. (bilatérale)	,244	,788	,878	,773	,000	,052	,000		,059	,041	,950	,570	,406	,287
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
pH	Corrélation de Pearson	,117	-,183	,198	-,158	,459	,579*	-,564	-,558	1	,651*	,479	,066	-,360	-,269
	Sig. (bilatérale)	,717	,569	,538	,624	,133	,048	,056	,059		,022	,115	,837	,250	,398
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
LR	Corrélation de Pearson	-,195	-,536	,369	-,528	,374	,343	-,598*	-,596*	,651*	1	,534	,491	,210	,176
	Sig. (bilatérale)	,544	,072	,238	,078	,231	,276	,040	,041	,022		,073	,105	,512	,583
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
NPM2	Corrélation de Pearson	,106	-,403	-,045	-,177	-,084	,263	-,023	-,020	,479	,534	1	,392	-,151	-,169
	Sig. (bilatérale)	,743	,194	,891	,582	,795	,408	,944	,950	,115	,073		,208	,639	,599
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
NTM2	Corrélation de Pearson	,056	-,495	,226	-,356	,042	-,006	-,179	-,182	,066	,491	,392	1	,126	-,109
	Sig. (bilatérale)	,862	,102	,479	,256	,898	,984	,577	,570	,837	,105	,208		,697	,735
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
NGP	Corrélation de Pearson	-,698*	-,140	-,140	-,237	,118	-,131	-,257	-,265	-,360	,210	-,151	,126	1	,791**
	Sig. (bilatérale)	,012	,664	,664	,458	,714	,685	,419	,406	,250	,512	,639	,697		,002
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	Corrélation de Pearson	-,570	,177	-,310	,104	,210	-,012	-,332	-,335	-,269	,176	-,169	-,109	,791**	1
	Sig. (bilatérale)	,053	,582	,326	,748	,513	,970	,292	,287	,398	,583	,599	,735	,002	
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral). **. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Annexe