

اجلروهمية اجلزائرةيم الديمقراطيةي العشبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة، احلرشا، اجلزارد
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
El Harrach, Alger

Thèse

EN VUE DE L'OBTENTION DU DOCTORAT
EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Thème

Etude de la bioécologie des nématodes à kystes du genre
Globodera inféodés à la culture de pomme de terre dans la
plaine du Haut-Chélif.

Présentée par : M^{elle} TIRCHI Nadia.

Devant le jury:

Président
Directrice de thèse
Co-Directeur de thèse
Examineurs

CHAKALI G.
MOUHOUCHE F.
MOKABLI A.
HAMMACHE M.
DJAZOULI Z. E.
SAHIR-HALOUANE F.

Professeur (ENSA)
Professeur (ENSA)
Professeur (UKM)
Maître de conférences (ENSA)
Professeur (USDB)
Professeur (UMBB)

Année universitaire 2014/2015

Remerciements

Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés au laboratoire Eau Roche et Plante (Nématologie) de l'Université de Khemis Miliana. Les parties Caractérisation morphologique et moléculaire des populations algériennes des nématodes étudiés sont réalisées en collaboration avec nos collègues de CNR de Bari, Italie (Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante-CNR di Bari, Italia).

Mes remerciements s'adressent à ma directrice de thèse, Madame MOUHOUCHE Fazia, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie d'El Harrach, pour tous ses conseils et encouragements. Je lui exprime mon profond respect.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance et mon profond respect à mon Co-directeur de thèse, Professeur MOKABLI Aissa, Doyen de la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie et de la Terre, de l'Université de Khemis Miliana pour bien vouloir diriger ce travail, je lui en serais sans cesse reconnaissante pour son suivi, sa compréhension, ces encouragements et son soutien.

Mes profonds remerciements vont aussi à monsieur CHAKALI Gahdab, Professeur au Département de Zoologie Agricole et Forestière à l'ENSA d'avoir bien voulu accepter de présider le jury de ma thèse, pour ses encouragements et son soutien.

Ma gratitude et mes respects vont également à monsieur HAMMACHE Miloud, Maître de Conférences au Département de Zoologie Agricole et Forestière à l'ENSA, à madame SAHIR-HALOUANE Fazia, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université M'Hamed Bougara de Boumerdes et à monsieur DJAZOULI Zahr-Eddine, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Blida, d'avoir bien voulu consacrer de leur temps pour lire ma thèse et évaluer mon travail.

Je voudrais remercier nos collègues de CNR de Bari (Italie) (Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante-CNR di Bari): Dr. Alberto TROCCOLI (pour l'identification morphologique), Dr. Francesca DE LUCA (pour l'identification moléculaire, le traitement des données et la dissertation finale) et Dr. Elena FANELLI (pour la caractérisation moléculaire). Ils ont très largement contribué à la réalisation de ce travail. Je les remercie pour leur suivi et soutien lors de mes séjours en Italie.

Je remercie monsieur MEKHANEG Boualem, Directeur de la SRPV de Chlef pour sa collaboration en mettant à notre disposition tous les documents nécessaires pour la réalisation de l'enquête sur les nématodes étudiés.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à monsieur KOUACHE Ben Moussa, Maître assistant à la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie et de la Terre de l'Université de Khemis Miliana pour son précieuse aide pour la réalisation des sorties sur le terrain tout au long de ce travail.

Je remercie aussi monsieur DJEZZAR Miliani, Maître assistant à la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie et de la Terre, de l'Université de Khemis Miliana pour son aide généreuse et encouragements.

Je remercie aussi monsieur KARAHACANE Tahar, Maître assistant à la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie et de la Terre, de l'Université de Khemis Miliana pour ses encouragements et soutien.

Je remercie monsieur LOUNIS Mourad, Professeur à la Faculté des Sciences et de la Technologie Université de Khemis Miliana pour son aide et ses encouragements.

Je voudrai aussi remercier ma famille pour, son soutien et ses encouragements tout au long de la réalisation de ce travail.

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

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>Globodera pallida</i> et leur plante hôte.....	5
I.1. Importance économique de la culture de la pomme de terre.....	5
I.1.1. Dans le monde.....	5
I.1.2. En Algérie.....	7
I.1.3. Dans la wilaya d'Ain Defla.....	8
I.2. Généralités sur les nématodes à kystes de la pomme de terre.....	11
I.2.1. Position systématique et synonymie.....	11
I.2.2. Origine.....	11
I.2.3. Répartition géographique	12
I.2.3.1. Dans le monde.....	12
I.2.3.2. En Algérie.....	13
I.2.4. Plantes hôtes.....	13
I.2.5. Morphologie des nématodes à kystes <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>G. pallida</i>	14
I.2.6. Biologie.....	15
I.2.7. Moyens de déplacement et de dispersion.....	17
I.2.8. Dégâts et importance économique.....	17
I.2.9. Symptômes.....	17
I.2.10. Facteurs influençant la densité des nématodes à kystes de la pomme de terre...	18
I.2.10.1. Facteurs abiotiques	18
I.2.10.1.1. Le climat.....	18
I.2.10.1.2. Les facteurs édaphiques.....	18
I.2.10.2. Facteurs biotiques	19
I.2.11. Techniques d'identification des espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre.....	19
I.2.11.1. Identification morphologique.....	19
I.2.11.2. Identification par des méthodes biochimiques.....	20
I.2.11.3. Identification par des méthodes immunologiques.....	20

I.2.11.4. Identification moléculaire.....	20
I.2.11.4.1. PCR (Polymérase Chain Reaction ou Réaction en Chaîne par Polymérase)	21
I.2.11.4.2. RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphisme, ou Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction).....	21
I.2.11.4.3. Séquençage.....	22
I.2.12. Moyens de lutte.....	22
I.2.12.1. Lutte préventive.....	22
I.2.12.2. Lutte curative.....	23
I.2.12.2.1. Lutte chimique.....	23
I.2.12.2.2. Méthodes culturales.....	23
I.2.12.2.3. Méthodes physiques.....	24
I.2.12.2.4. Lutte génétique	24
I.2.12.2.5. Lutte biologique.....	25
I.2.12.2.6. Lutte intégrée.....	25
Chapitre II : Présentation de la région d'étude.....	26
II.1. Situation géographique.....	26
II.2. Caractéristiques climatiques	28
II.3. Caractéristiques pédologiques.....	28
II.4. Ressources hydriques.....	29
II.5. Secteur de l'Agriculture	29
Chapitre III : Aperçu sur la distribution des nématodes à kystes <i>Globodera</i> de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla.....	31
III.1. Objectifs.....	31
III.2. Matériel et méthodes.....	31
III.2.1. Choix des sites.....	31
III.2.2. Analyse nématologique.....	31
III.2.2.1. Echantillonnage.....	31
III.2.2.2. Extraction.....	32
III.2.2.3. Récupération des kystes	33
III.2.2.4. Dénombrement des kystes.....	33
III.2.2.5. Dénombrement des œufs et des larves contenus dans les différents	34

échantillons et calcul des degrés d'infestation.....	36
III.2.2.6. Analyse statistique des résultats.....	36
II.3. Résultats	36
III.3.1. Fréquence de l'infestation	37
III.3.2. Importance de l'infestation en fonction des communes prospectées.....	37
III.3.2.1. Dénombrement des kystes pleins et vides.....	37
III.3.2.1.1. Comparaison de la densité moyenne par commune.....	37
III.3.2.1.2. Comparaison de la densité des kystes entre les parcelles.....	39
III.3. 2.2. Degré d'infestation par <i>Globodera</i>	40
III.3.3. Cartographie de la répartition de des nématodes à kystes <i>Globodera</i>	43
III.4. Discussion et conclusion.....	44
Chapitre IV : Distribution verticale des nématodes à kystes <i>Globodera</i> spp. de la pomme de terre dans le sol.....	49
IV.1. Objectifs.....	49
IV.2. Matériel et méthodes.....	49
IV.2.1. Analyse nématologique.....	49
IV.2.1.1. Echantillonnage.....	49
IV.2.1.2. Extraction et comptage des kystes.....	49
IV.2.2. Effet de deux facteurs édaphiques sur la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre.....	50
IV.2.2.1. Etude de pH du sol.....	50
IV.2.2.2. Dosage de calcaire total du sol.....	51
IV.3. Résultats	52
IV.3.1. Distribution des kystes au stade levée.....	52
IV.3.2. Distribution des kystes au stade maturation.....	53
IV.3.3. Comparaison entre le premier stade et le deuxième stade.....	55
IV.3.4. Effet du pH et du taux de calcaire (% CaCo3) sur la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre.....	56
IV.3.3.1. Etude du pH	56
IV.3.3.2. Etude de calcaire total (% CaCo3).....	58
IV.3.3.3. Corrélation entre le nombre de kystes de <i>Globodera</i> dans le profil du sol avec le pH et le %CaCO3	60
IV.4. Discussion et conclusion.....	60

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes <i>Globodera</i> de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla.....	63
V.1. Problématique.....	63
V.2. Objectif de l'enquête	63
V.3. Méthodologie.....	64
V.3.1. Phase pré enquête	64
V.3.2. Phase enquête proprement dite.....	64
V.3.2.1. Enquête auprès du Responsable de laboratoire de Nématologie de Chlef.....	64
V.3.2.2. Analyse des résultats du laboratoire Nématologie de la SRPV de Chlef sur l'état d'infestation par les <i>Globodera</i> spp.	65
V.3.2.3. Enquête auprès des agriculteurs, responsables d'exploitations agricoles.....	66
V.3.2.3.1. Choix de l'échantillon.....	66
V.3.2.3.2. Elaboration des questionnaires et collecte de données.....	66
V.3. 3. Déroulement de l'enquête.....	67
V.3. 4. Analyse et interprétation des résultats.....	67
V.4. Résultats	69
V.4.2. Analyse des résultats du laboratoire de Nématologie de la SRPV de Chlef sur l'état d'infestation par les <i>Globodera</i> spp.	70
V.4.2.1. Importance de l'infestation des échantillons du sol	72
V.4.2.2. Importance de l'infestation des tubercules.....	74
V.4.3. Analyse des données recueillies auprès des agriculteurs.....	74
V.4.3.1. Présentation des exploitations enquêtées.....	74
V.4.3.1.1. Situation et superficie.....	74
V.4.3.1.2. Statut des exploitations enquêtées.....	76
V.4.3.1.3. Niveau de technicité des gérants des exploitations enquêté.....	76
V.4.3.1.4. Type de culture.....	77
V.4.3.2. Caractéristiques de site et mode de conduite de la culture.....	77
V.4.3.2.1. Système de culture, variétés cultivées et type de rotation.....	77
V.4.3.2.2. Environnement des parcelles.....	80
V.4.3.2.3. Mécanisation	81
V.4.3.2.4. Pratiques culturales (Irrigation, plantes associées, jachère, labour d'été)	81
V.4.3.3. Connaissance de ces parasites par les agriculteurs.....	83
V.4.3.4. Analyses nématologique.....	84

V.4.3.4.1. Réalisation des analyses nématologiques dans les exploitations enquêtées.....	84
V.4.3.6.2. Organisme ayant effectué les analyses nématologiques.....	85
V.4.3.4.2. Résultats des analyses nématologiques effectuées dans les exploitations enquêtées.....	86
V.4.3.5. Méthodes de lutte utilisées dans les exploitations enquêtées et leur effet sur les nématodes à kystes de la pomme de terre.....	86
V.4.3.5.1. Fertilisation	86
V.4.3.5.2. Pratiques culturales.....	87
V.4.3.5.3. Désinfection du sol avant culture et en cours de culture par des nématicides ou des produits à effet nématicide.....	88
V.4.3.5.3. Désinfection du sol avant culture et en cours de culture par des nématicides ou des produits à effet nématicide.....	89
V.4.3.5.4. Autres traitements phytosanitaires	89
V.5. Discussion et conclusion.....	91

Chapitre VI : Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla..... 98

VI.1. Objectifs.....	98
VI.2. Matériel et méthodes.....	98
VI.2.1. Populations de <i>Globodera</i> étudiées.....	98
VI.2.2. Etude biométrique des kystes.....	99
VI.2.3. Identification par examen de la région périnéale.....	100
VI.2.3.1. Préparation des kystes et réalisation des coupes.....	100
VI.2.3.2. Montage.....	100
VI.2.3.3. Critères pris en considération.....	100
VI.2.4. Identification des juvéniles.....	102
VI.2.5. Analyse statistique.....	103
VI. 3. Résultats.....	103
VI.3.1. Identification des populations de <i>Globodera</i>	103
VI.3.2. Fréquence des populations pures et des populations mixtes dans les échantillons identifiés.....	104
VI.3.3. Biométrie des kystes.....	105
VI.3.4. Région périnéale des kystes.....	109

VI.2.5. Morphométrie des juvéniles.....	114
VI.2.6. Classification hiérarchique des populations étudiées.....	121
VI.4. Discussion et conclusion.....	122
Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.....	126
VII.1. Objectifs.....	126
VII.2. Matériel et méthodes.....	126
VII.2.1. Populations de <i>Globodera</i> utilisées dans cette étude.....	126
VII.2.2. Choix du marqueur moléculaire.....	126
VII.2.3. Extraction de l'ADN génomique.....	127
VII.2.4. PCR (Polymerase Chain Reaction ou Réaction en Chaîne Parpolymérase)	128
VII.2.4.1. Principe de la PCR.....	128
VII.2.4.2. Technique.....	129
VII.2.5. Visualisation des fragments d'ADN par électrophorèse sur gel d'Agarose....	130
VII.2.6. RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism, ou Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction).....	130
VII.2.6.1.Principe de la RFLP.....	130
VII.2.6.2. Méthode.....	131
VII.2.7. Extraction et purification des produits PCR sur du gel d'agarose.....	131
VII.2.8. Clonage des produits PCR.....	132
VII.2.8.1. Principe du clonage.....	132
VII.2.8.2. Ligature dans un vecteur.....	132
VII.2.8.3. Transformation.....	133
VII.2.8.4. Extraction de l'ADN plasmidique.....	134
VII.2.9. Séquençage et analyse des séquences	135
VII.3. Résultats.....	136
VII.3.1. PCR/ RFLP.....	136
VII.3.2. Analyse de la variabilité génétique intraspécifique de <i>G. pallida</i> et de <i>G. rostochiensis</i>	138
VII.3.3. Etude phylogénétique	141
VII.4. Discussion et conclusion.....	144
Conclusion générale.....	148
Références bibliographiques.....	153
Annexes.....	169

Liste des figures

Figure 1: Production de la pomme de terre en 2013 dans les différents continents du monde (FAOSTAT, 2014).....	6
Figure 2 : Evolution de la superficie de pomme de terre en Algérie (ITCMI, 2013).....	8
Figure 3 : Evolution de la production de pomme de terre en Algérie (ITCMI, 2013).	8
Figure 4: Evolution de la superficie de pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla (établit à partir des données statistiques de la DSA d'Ain Defla, 2014).....	9
Figure 5: Evolution de la production de pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla (établit à partir des données statistiques de la DSA d'Ain Defla, 2014).....	10
Figure 6: Evolution des Rendements de la pomme de terre de saison et d'arrière saison dans la wilaya d'Ain-Defla (établit à partir des données statistiques de la DSA d'Ain Defla, 2014).....	10
Figure 7 : Femelles matures de <i>Globodera rostochiensis</i> (A) et de <i>Globodera pallida</i> (B) sur racine (Pickup et Hockland, 2002).....	15
Figure 8 : kyste écrasé montrant les œufs (A) et juvéniles J2 (B) de nématodes à kystes de la pomme de terre <i>Globodera</i> spp. (Hodda et Lawrence, 2009).....	15
Figure 9: Cycle biologique des nématodes à kyste du genre <i>Globodera</i> (Picard, 2005).....	16
Figure 10 : Situation géographique de la région d'Ain Defla (DSA d'Ain Defla, 2013).....	27
Figure 11 : Répartition de la superficie agricole utile dans la wilaya d'Ain Defla (ANDI, 2013).....	30
Figure 12 : Schéma d'échantillonnage au niveau des parcelles prospectées.....	32
Figure 13: Differece entre les kystes pleins (A) et les kystes vides (B) de <i>Globodera</i> spp. vus sous loupe binoculaire (G :4X10) (Original).....	34
Figure 14: Kyste écrasé libérant les larves et les œufs de <i>Globodera</i> spp. (Original) vu sous loupe binoculaire (G : 4X10) (Original).....	34
Figure 15: Larves et œufs de <i>Globodera</i> spp. vus sous microscope optique (G : X10) (Original).....	34
Figure 16 : Les étapes de l'analyse nématologique (Original).....	35
Figure 17: Nombres moyens des kystes (vides, pleins et totaux) de <i>Globodera</i> spp. en fonction des communes prospectées.....	38
Figure 18 : Moyennes des degrés d'infestation des <i>Globodera</i> en fonction des	41

communes prospectées.....	
Figure 19 : Répartition des communes sur le plant factoriel (1x2) en relation avec les variables liés à l'infestation.....	43
Figure 20 : Distribution géographique des nématodes à kystes de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla.....	44
Figure 21 : Protocole d'échantillonnage utilisé pour l'étude de la distribution verticale des nématodes <i>Globodera</i> dans le sol au niveau de chaque site.....	50
Figure 22 : Variabilité de nombres de kystes entre les trois profondeurs dans les sites étudiés durant le stade levée.....	53
Figure 23 : Variabilité de nombres de kystes entre les trois profondeurs dans les sites étudiés durant le stade maturation.....	54
Figure 24 : Nombre de kystes de <i>Globodera</i> spp. dans les trois sites et dans les différentes profondeurs aux cours des deux stades de développement.....	55
Figure 25 : Variation du pH entre le stade levée (S1) et le stade maturation (S2).....	57
Figure 26 : Variation du pH entre les trois profondeurs du sol.....	57
Figure 27 : Variation du pH dans les sites étudiés.....	57
Figure 28 : Variation de %CaCo3 entre le stade levée (S1) et le stade maturation (S2).....	58
Figure 29 : Variation de %CaCo3 entre les sites étudiés.....	59
Figure 30 : Variation de %CaCo3 dans les différentes profondeurs du sol.....	59
Figure 31 : Analyse en Composante Principale de la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre et des variables considérés.....	60
Figure 32 : Démarche entreprise pour la réalisation de l'enquête.....	68
Figure 33 : Bulletin délivré par la SRPV de Chlef suite à l'analyse nématologique d'un échantillon du sol d'une parcelle destinée à la multiplication de semences ou des tubercules de pomme de terre.....	71
Figure 34 : Taux d'infestation de pomme de terre de saison durant la période 2006-2014 dans la wilaya d'Ain Defla (selon la SRPV de Chlef).....	73
Figure 35 : Taux d'infestation des de pomme de terre d'arrière saison durant 2005-2007 dans la wilaya d'Ain Defla	73
Figure 36 : Statut des exploitations agricoles enquêtées.....	76
Figure 37 : Niveau de formation des agriculteurs enquêtés.....	76
Figure 38 : Destination de culture de pomme de terre cultivée dans les exploitations enquêtées.....	77
Figure 39 : Variétés cultivées dans les parcelles enquêtées.....	78
Figure 40 : Environnement des parcelles enquêtées.....	81

Figure 41 : Présence ou absence d'une bordure autour des parcelles.....	81
Figure 42 : Type d'irrigation utilisé dans les parcelles enquêtées.....	82
Figure 43 : Plantes associées à la pomme de terre dans les parcelles enquêtées.....	82
Figure 44 : Pratique de la jachère dans les parcelles enquêtées.....	82
Figure 45 : Connaissance des nématodes à kystes de la pomme de terre par les agriculteurs enquêtés.....	84
Figure 46 : Importance des analyses nématologiques dans les exploitations enquêtées.....	85
Figure 47 : Organismes effectuant les analyses nématologiques dans les exploitations enquêtées.....	85
Figure 48 : Résultats des analyses nématologiques dans des parcelles des exploitations agricoles enquêtées d'après les agriculteurs.....	86
Figure 49 : Type d'amendements apportés à la culture de pomme de terre dans les exploitations enquêtées.....	87
Figure 50 : Type de rotation dans les exploitations.....	88
Figure 51 : Pratique de la jachère dans les exploitations.....	88
Figure 52 : Pratique du labour d'été dans les exploitations agricoles enquêtées.....	88
Figure 53 : Désinfection du sol avant (A) au cours (B) de la culture.....	89
Figure 54 : Produits utilisés pour la désinfection du sol.....	89
Figure 55 : Utilisation des traitements phytosanitaires insecticides (A), herbicides (B) et fongicides (C) dans les exploitations enquêtées.....	91
Figure 56 : Les mensurations effectuées sur les kystes des différentes populations.....	100
Figure 57 : Technique de montage de la région périnéale pour la détermination des espèces de <i>Globodera</i> (Original).....	101
Figure 58 : Mensurations nécessaires pour l'identification morphologique des juvéniles de <i>Globodera</i>	102
Figure 59 : fréquence des populations pures (<i>G. pallida</i> ou <i>G. rostochiensis</i>) et de populations mixtes.....	104
Figure 60 : Mensurations des longueurs, largeurs et longueurs du cou des seize populations étudiées.....	106
Figure 61 : Kystes de <i>Globodera</i> présentant différentes tailles (variabilité des longueurs, largeurs et longueurs du cou) (Original).....	107
Figure 62 : Classification hiérarchique des variables caractérisant les kystes des populations étudiées.....	108

Figure 63 : Comparaison de la moyenne des mensurations effectuées sur les régions périnéale des kystes des différentes populations.....	110
Figure 64 : Vue microscopique des régions périnéales des kystes de <i>G. rostochiensis</i> de la population (RG2) originaire de Rouina (Original).....	111
Figure 65 : Vue microscopique des régions périnéales des kystes de <i>G. pallida</i> de la population (EAG2) originaire d'El Amra (Original).....	112
Figure 66 : Analyse en composantes principales (ACP) relative aux variables étudiées pour la région périnéale des kystes.....	113
Figure 67 : Vues microscopiques des juvéniles de deuxième stade de <i>G. rostochiensis</i> . A : corps entier (G: X10), B : juvénile sortant d'un œuf (G : X40), C : partie antérieure (G:X100), D : partie postérieure (G: X100); E, F, G : tête (G : X100) (Original).....	118
Figure 68 : vues microscopiques des juvéniles de deuxième stade de <i>G. pallida</i> . A : corps entier (G : X10) ; B : partie antérieure (G : X100); C : partie médiane (G : X100) ; D : partie postérieure ; E, F, G : tête (G: X100) (Original).....	119
Figure 69 : Analyse en composantes principales (ACP) relative aux variables étudiées pour la région périnéale des kystes.....	121
Figure 70 : Classification hiérarchique des populations de nématodes à kystes de la pomme de terre basée sur deux caractères des kystes et un caractère des juvéniles....	122
Figure 71 : Organisation d'un cistron de l'ADN ribosomique.....	127
Figure 72 : Le vecteur pGEM T-Easy: gène du peptide α de la β -galactosidase ; <i>Ampr</i> : gène de résistance à l'ampicilline.....	133
Figure 73 : Les étapes du clonage (ligature, transformation, clonage proprement dit et extraction de l'ADN plasmidique).....	135
Figure 74 : Produit d'amplification (PCR) de l'ADNr de <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i>	137
Figure 75 : Patrons PCR-RFLP résultant de la digestion par les deux endonucléases <i>Alu I</i> et <i>Rsa I</i> des produits ITS-ADNr amplifiés des populations des nématodes à kystes de la pomme terre.....	138
Figure 76 : Alignement des séquences des différentes populations usitées pour l'étude phylogénétique.	123
Figure 77 : Arbre phylogénétique (rDNA) obtenu par la méthode Maximum Likelihood (ML) basée sur l'analyse de séquences de la région ITS de l'ADN ribosomique des populations algériennes de <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> et de séquences de ces deux espèces et autres espèces du genre <i>Globodera</i> issues de GenBank.....	143

Liste des tableaux

Tableau 1: Les principaux producteurs de pomme de terre dans le monde en 2012 (FAOSTAT, 2014).....	6
Tableau 2: Différentiation entre les deux espèces <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>G. pallida</i> (Baldwin & Mando-Ocampo, 1991 ; Fleming et Power, 1998).....	20
Tableau 3 : Texture du sol dans les différentes communes de la wilaya d'Ain Defla (DSA, Ain Defla, 2013).....	28
Tableau 4: Fréquence de l'infestation dans les différentes communes prospectées.	37
Tableau 5. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des régions prospectées sur les variables étudiées.....	42
Tableau 6: Classification du sol selon le pH.....	51
Tableau 7: Normes d'interprétation du calcaire total.....	52
Tableau 8: Analyse de la variance de nombre de kystes dans les sites étudiés entre les profondeurs durant le stade levée.....	53
Tableau 9: Analyse de la variance de nombre de kystes dans les différentes profondeurs du sol dans les sites durant le stade maturation.....	54
Tableau 10: Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des facteurs profondeur, site et stade de développement de la plante hôte sur le nombre de kystes de <i>Globodera</i>	56
Tableau 11: valeurs de pH dans le profil du sol dans les sites étudiés.....	56
Tableau 12: Taux de calcaire (%CaCo3) dans le profil du sol dans les sites étudiés.....	58
Tableau 13 : Situation des exploitations enquêtées et importance de la culture de pomme de terre (dans ces exploitations).....	75
Tableau 14: Type de rotation appliquée dans les parcelles étudiées.....	79
Tableau 15 : Produits phytosanitaires utilisés dans les exploitations agricoles enquêtées.	90
Tableau 16: Code et origine des populations de <i>Globodera</i> utilisées et information, sur les sites où sont collectées ces populations (plante hôte, variétés utilisées et précédant culturaux).....	99
Tableau 17: Identification morphologique des seize populations de <i>Globodera</i> collectées à Ain Defla.....	104
Tableau 18: Mensurations des kystes de <i>Globodera</i> d'origine d'Ain Defla, Algérie. Toutes les mesures sont en μm et présentées en moyenne \pm écart type, maxima et	105

minima entre parenthèses (n=30).....	
Tableau 19: Analyse de la variance au seuil de 5% pour l'effet des variables liées à la biométrie des kystes de <i>Globodera</i> en fonction des différentes populations.....	107
Tableau 20 : Mensurations des kystes de différentes populations de <i>Globodera</i> d'origine d'Ain Defla, Algérie. Toutes les mesures sont en μm (sauf pour le rapport de Granek), présentées en moyenne \pm écart type avec maxima et minima entre parenthèses (n=20).....	109
Tableau 21: Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% des caractères des régions périnéales des populations de NKPT étudiées.....	113
Tableau 22 : Mensurations des juvéniles de différentes populations de <i>Globodera</i> d'origine d'Ain Defla, Algérie.....	116
Tableau 23 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% des caractères des juvéniles des populations de NKPT étudiées.....	120
Tableau 24: Liste des amorces utilisées pour l'amplification (code, séquence et gène amplifié).....	130
Tableau 25: Pourcentage de similitude de la région ITS entre les populations algériennes de <i>Globodera pallida</i> . La variabilité des nucléotides (nt) est indiquée entre parenthèses.....	140
Tableau 26: Pourcentage de similitude de la région ITS entre les populations algériennes de <i>Globodera rostochiensis</i> . La variabilité des nucléotides (nt) est indiquée entre parenthèses	140

Liste des abréviations

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

ADNr : Acide DésoxyriboNucléique ribosomique

ACP : Analyse en Composante Principal.

ANDI : l'Agence Nationale de Développement de l'Investissement

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

BLAST: Basic Local Alignment Search Tool

Bp : Paire de Base

BSA : Sérum d'Albumine Bovine

°C : degré Celsius

Caco3 : carbonates de calcium

CAW : Chambre d'Agriculture de la wilaya

CNCC : Centre National et de Certification de semences

cm : centimètre

CO₂ : dioxyde de carbone

dNTP : DésoxyNucléoside TriPhosphate

DPVCT : Direction de la Protection de végétaux et du contrôle technique

DSA : Direction des Services Agricoles.

EAC : Exploitations Agricoles Collectives

EAI : Exploitations Agricoles Individuelles

ETS: External Transcribed Spacer

FAO: Food and Agriculture Organization.

g: gramme

ha : hectare

HCl : acide chlorhydrique

H/km : habitant/kilomètre carré.

INPV : Institut National de Protection de Végétaux

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles.

ITS: Internal Transcribed Spacer

KCl : chlorure de potassium

kg : kilogramme

LB : bouillon lysogène.

L2 : larve de deuxième stade

m : mètre

m² : mètre carré.

mg : milligramme

MgCl₂ : chlorure de magnésium

min. : minute

ml : millilitre

mM : millimole

Mt : million de tonnes

NaCl : chlorure de sodium

NKPT : Nématodes à kystes de la pomme de terre

OEPP : Organisation Européenne et méditerranéenne pour la Protection des Plantes.

PCR : Polymerase Chain Reaction

pH : Potentiel Hydrogène

RFLP: Restriction Fragment Length Polymorphism.

rpm : rotation par minute

SAT : superficie agricole totale

SAU : superficie agricole utile

sec. : Seconde

SRPV : station régionale de la protection des végétaux

Taq polymerase: Thermophilus aquaticus polymerase

Tris : trishydroxyméthylaminométhane

UV : Ultra Violet

µm : micromètre

% : pour cent

Introduction générale

Introduction générale

La pomme de terre, *Solanum tuberosum* L., originaire des pays montagneux andins d'Amérique du Sud, est une culture majeure dans plusieurs pays de monde (Scurrah et al., 2005). L'Algérie est un des plus grands producteurs en Afrique (FAOSTAT, 2012). En Algérie, la pomme de terre est cultivée sur la cote méditerranéenne, qui jouit d'un climat tempéré propice à sa culture tout au long de l'année. On en trouve aussi à 500 mètres, sur les montagnes et les vallées entre la cote et les monts Atlas ainsi que sur les hauts plateaux (FAO, 2008). Actuellement, cette culture est conduite aussi au Sahara où sa production a été initiée il y'a une vingtaine d'années (ITCMI, 2013).

Le développement de la culture de pomme de terre rencontre un certain nombre de contraintes parmi lesquelles des contraintes climatiques, les maladies et les attaques de ravageurs et parasites tels que les insectes et les nématodes (Soltner, 1979 ; Rousselle et al., 1996 ; Fiers et al., 2012) dont les nématodes à kystes du genre *Globodera* qui sont très redoutables. Ce genre regroupe deux espèces *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) et *Globodera pallida* (Stone, 1973) qui causent des pertes quantitatives et qualitatives aux récoltes de la pomme de terre (Schneider et Mugniery, 1971 ; Van Riel et Mulder, 1998 ; De Ruijter et Haverkort, 1998 ; OEPP, 2004 ; Bélair, 2008 ; Chauvin et al., 2008 ; Warner, 2008 ; Niere et Unger, 2012). Annuellement, ces deux espèces sont responsables de pertes d'environ 12% de rendement mondial de la pomme de terre (Bates et al., 2002 in Hoolahan et al., 2012). Récemment, une nouvelle espèce de nématodes à kystes de la pomme de terre est découverte: *Globodera ellingtonae*, elle est décrite mais les travaux sur celle-ci sont à leur début (Handoo et al., 2012 ; Lax et al., 2014).

Les nématodes à kystes de la pomme de terre NKPT sont des organismes qui parasitent les racines des plantes et les endommagent. Ils peuvent persister dans le sol à l'état de kyste pendant plusieurs années. Ils sont très dangereux vu le début insidieux de leurs attaques, leur taux de multiplication hautement élevé, la dispersion et la longévité des kystes dans le sol, leur dissémination facile, la difficulté de leur détection et donc la difficulté d'établir une stratégie de lutte efficace (Schneider et Mugniery, 1971). Ils sont considérés comme des organismes de quarantaine dans plusieurs pays dans le monde (Bélair, 2005 ; Bélair, 2008 ; Chauvin et al., 2008 ; Hodda et Cook, 2009).

Depuis la détection de ces parasites en Allemagne en 1913, leur aire de répartition ne cesse de s'étendre. Leur dissémination à travers le monde a suivi la diffusion de la culture de la pomme de terre (Schneider et Mugniery, 1971 ; Marks et Brodie, 1998). Leur présence est

Introduction générale

signalée actuellement sur tous les continents, au sein de plusieurs pays : en Italie (Greco et *al.*, 1982), en Yougoslavie (Krnjaić et *al.*, 2002) en Australie (Hodda et Lawrence, 2009 ; Hodda et Cook, 2009), aux USA (Jhonson et *al.*, 2007 ; Nakhla et *al.*, 2010), en Bolivie et au Pérou (Delgado de la flor et Jatala, 1991 ; Franco-Ponce et Ganzález Verástegui, 2011), Au Canada (Bélair, 2005 ; Bélair, 2008 ; Chauvin et *al.*, 2008), en Inde (Devrajan et *al.*, 2004), au Pakistan (Khan et *al.*, 1986), au Venezuela (Jiménez-Pérez et *al.*, 2007).... En Algérie, ils sont détectés en 1953 à Alger (Frezal, 1954) puis ils se sont disséminés dans plusieurs wilayas.

La lutte chimique était la méthode la plus employée pour combattre ces nématodes. Elle consiste à la désinfection des sols avec des fumigants ou à traiter les cultures en place avec des produits systémiques, véhiculés par la sève (Cayrol et *al.*, 1992). Mais, souvent, les matières actives utilisées sont incapables d'éradiquer ces parasites dans le sol étant donné qu'elles sont inefficaces contre leurs œufs qui sont protégés dans des kystes. De plus, elles affectent considérablement le potentiel biotique des micro-organismes utiles du sol vu, leur large spectre d'action. Par ailleurs, les résidus chimiques qui persistent dans les sols traités sont nocifs pour l'environnement et la santé humaine. Tous ces problèmes toxicologiques et les conséquences sur l'environnement causés ont conduit soit à leur retrait ou à restreindre leur utilisation (Lilley et *al.*, 2007 ; Green et *al.*, 2012).

La lutte intégrée devient donc une priorité pour la lutte contre ces parasites. La surveillance est très importante pour détecter les champs infestés afin de prendre les mesures qui limitent leur dissémination dans d'autres régions. La stratégie de lutte doit être basée sur l'emploi raisonné de pesticides et la combinaison de méthodes alternatives telles que la lutte culturale en utilisant des variétés résistantes (Greco et *al.*, 2007 ; Urek et *al.*, 2008 ; Fournet, 2011 ; Turcotte et *al.*, 2013), la pratique d'une bonne rotation et les longues jachères (Oesterlin, 2003; Bélair, 2005 ; Lambion et *al.*, 2006), l'utilisation des cultures pièges (Dandurand, 2013) et la lutte biologique en utilisant des champignons, des bactéries ou des extraits des végétaux (Revexsat, 1981 ; Cayrol et *al.*, 1992 ; Trifonova, 2010). Cependant, l'étape essentielle pour établir un programme de contrôle c'est l'identification exacte de l'espèce de nématode ciblée. Par exemple, pour l'emploi de variétés résistantes, qui constitue l'une des bases d'une stratégie de lutte intégrée contre ces parasites (Den Nijs, 1992 ; Brodie, 1996 ; Atikson et *al.*, 2003 ; Turcotte et Harvey, 2007), cette étape est d'une importance cruciale puisque les résistances des cultivars sont généralement spécifiques (Whitehead et Turner, 1998 ; Blok et *al.*, 1998 ; Sedlák et *al.*, 2004).

Introduction générale

Les espèces de NKPT peuvent être distinguées par des différences morphologiques par le diagnostic de quelques caractères tels que la morphologie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de deuxième stade (J2) (OEPP, 2004) mais parfois, des chevauchements peuvent exister entre les différentes populations des différentes espèces (Bladwin et Mundo-Ocampo, 1991 ; Subbotin et *al.*, 2000; LNPV, 2001; Manduric et *al.*, 2004). Ainsi, l'identification morphologique n'est pas toujours fiable et elle doit être complétée par une identification basée sur des tests biochimiques ou des analyses moléculaires (Ibrahim et *al.*, 2001 ; Burrows et Boffey, 1986 ; Abrantes et *al.*, 2004).

Parmi les méthodes moléculaires, les différentes techniques de Réaction en Chaîne Parpolymérase ou Polymerase Chain Reaction (PCR) ont révolutionné les études sur les nématodes phytoparasites y compris les NKPT parce qu'elles offrent une perspective d'identification rapide et exacte des espèces (Shields et *al.*, 1996 ; Fleming et Turner, 1998 ; Subbotin et *al.*, 2000 ; Vejl et *al.*, 2002 ; Carta et *al.*, 2005 ; Quader et *al.*, 2008 ; Oro et *al.*, 2010 ; Groza et *al.*, 2011). La technique RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism, ou Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction) est d'une grande importance pour l'étude de la variabilité génétique de différentes populations (Thiéry et Mugniery, 1996; Subbotin et *al.*, 1999 ; Širca et *al.*, 2010) et grâce aux techniques du séquençage, les chercheurs peuvent établir les relations phylogénétiques entre les populations de différentes origines (Sabo et *al.*, 2002 ; Skantar et *al.*, 2007 ; Picard et *al.*, 2007 ; Plantard et *al.*, 2008 ; Subbotin et *al.*, 2000 et 2011 ; Grenier et *al.*, 2001).

Notre travail est une approche à une lutte intégrée contre ces parasites, il a été réalisé dans la plaine du Haut-Chellif située dans la région d'Ain Defla qui figure parmi les régions les plus productrices de la pomme terre en Algérie. Après une phase de prospections et d'échantillonnages, nous avons pu évaluer l'état d'infestation de quelques localités à vocation pomme de terre par les nématodes à kystes du genre *Globodera* et établir une cartographie de leur répartition.

Nous nous sommes aussi intéressés à l'étude de leur distribution dans le sol et l'effet de deux facteurs édaphiques (pH, taux de calcaire) et stade de développement de la plante hôte sur cette répartition. En effet, la répartition des nématodes dans le sol est influencée par des facteurs liés à la plante, aux pratiques culturales employées et par d'autres facteurs liés au type du sol (Schneider et Mugniery, 1971 ; Rousselle et *al.*, 1996). Pour cela, l'étude de leur répartition dans un champ est importante pour établir un programme de contrôle.

Introduction générale

Une enquête a été menée dans cette région auprès de la station régionale de la protection de végétaux (SRPV) de Chlef et sur le terrain auprès des agriculteurs afin de compléter nos informations sur l'état d'infestation de cette région, mettre en évidence les facteurs qui ont contribué à cette infestation et proposer un état des lieux des mesures prises par les organismes agricoles de cette région pour limiter leur dispersion.

Les populations de nématodes à kystes *Globodera* récoltées dans les différentes régions d'Ain Defla étaient soumises à une caractérisation morphologique en se basant sur des caractères des kystes et des juvéniles infestant et moléculaire en utilisant les techniques PCR-RFLP et le séquençage de la région ITS de l'ADN ribosomal. A travers ces techniques, nous avons pu identifier les espèces de quelques populations d'origine d'Ain Defla, évaluer la variabilité génétique intraspécifique de populations de *G. pallida* et de *G. rostochiensis* et explorer les relations phylogénétiques entre ces populations et des populations européennes ou américaines.

Chapitre I

**Données bibliographiques sur les
nématodes à kystes *Globodera*
rostochiensis et *Globodera pallida* et
leur plante hôte**

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

Dans cette synthèse bibliographique, différentes parties concernant la plante hôte et le parasite étudié seront discutées avec une vue particulière sur leurs situation en Algérie. En premier lieu, nous présentons un aperçu sur l'importance économique de la culture de la pomme de terre sur le plan mondial et en Algérie où ce légume constitue une composante importante et peu couteuse d'une alimentation équilibrée de la population. Ensuite, nous allons aborder les principaux axes de connaissance des nématodes à kystes de la pomme de terre (NKPT): leur importance économique, biologie, écologie, symptomatologie, moyens de lutte et leur variabilité génétique via les marqueurs moléculaires.

I.1. Importance économique de la culture de pomme de terre

I.1.1. Dans le monde

La pomme de terre est le légume le plus consommé dans le monde. Elle présente en effet, l'avantage de produire plus de nourriture nutritive que toute autre grande culture sur moins de terres et que 85% de la plante est comestible pour l'homme, contre environ 50% pour les céréales (Nouad, 2009). Elle figure au 5^{ème} rang après la cane à sucre, le maïs, le riz et le blé avec une production de 368 millions de tonnes en 2012 (FAOSTAT, 2014). L'importance de cette espèce végétale est telle qu'elle est cultivée dans plus de 150 pays à travers le monde (Amirouche, 2009). La surface cultivée en ce légume est estimée à près de 19 millions d'hectares en 2010 (FAOSTAT, 2012).

Le secteur de la pomme de terre est en pleine évolution. Jusqu'au début des années 90, la plupart des pommes de terre étaient cultivées et consommées en Europe, en Amérique du Nord et dans les pays de l'ex-Union Soviétique. Depuis lors, la production et la demande de pommes de terre ont enregistré une forte croissance en Asie, en Afrique et en Amérique latine. En 2005, pour la première fois, la production de la pomme de terre du monde en développement a dépassé celle du monde développé, la Chine est devenue le premier producteur mondial de pommes de terre (23% de la production mondiale) (FAO STAT, 2008). En Asie, la production est passée de moins de 30 millions de tonnes au début des années 60 à en environs 180 Mt (soit 49% de la production mondiale) en 2013 (FAOSTAT, 2013) (Figure 1). En 2013, la Chine figure toujours comme premier producteur mondial de la pomme de terre suivie de l'Inde, la Russie, l'Ukraine et les États-Unis (FAOSTAT, 2014). Le classement des principaux pays producteurs de la pomme de terre dans le monde pour l'année 2012 est présenté dans le tableau 1.

Les chiffres disponibles pour la consommation moyenne par habitant sont ceux de l'année 2005 avec 87,6 kg/habitant en Europe, 60 kg/habitant en Amérique du Nord, 23,9

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

kg/habitant en Asie-Océanie, 20,7 kg/habitant en Amérique latine et 13,9 kg/habitant en Afrique (FAO, 2008).

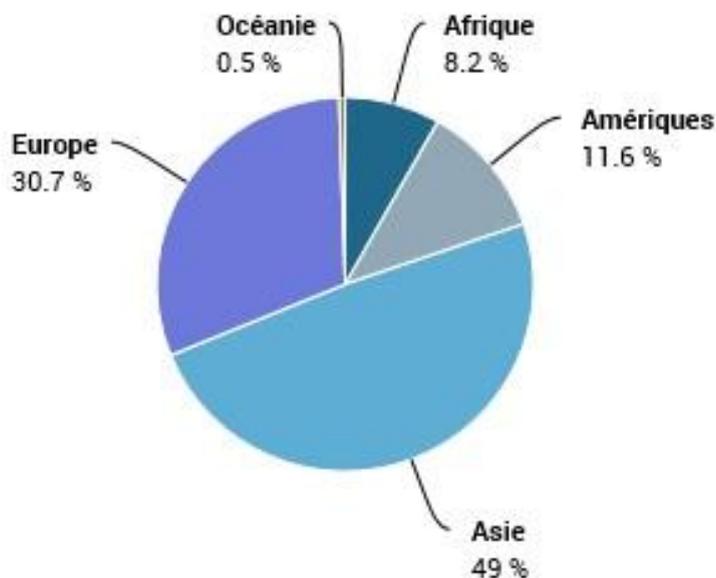


Figure 1: Production de la pomme de terre en 2013 dans les différents continents du monde (FAOSTAT, 2014).

Tableau 1: Les principaux producteurs de pomme de terre dans le monde en 2012 (FAOSTAT, 2014).

Rang	Pays	Production (t)
1	Chine Continentale	87260000
2	Inde	41483000
3	Fédération de la Russie	29532530
4	Ukraine	23250200
5	Etats Unis de l'Amérique	20990738
6	Allemagne	10665600
7	Pologne	9091900
8	Bangladesh	8205470
9	Pays-Bas	6765618
10	France	6340807
11	Iran	5400000
12	Turquie	4795122
13	Canada	4590296
14	Algérie	4219476

I.1.2. En Algérie

En Algérie, la pomme de terre a probablement, été introduite une première fois au XVIème siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région (Ameziane, 1991). La grande étendue du pays caractérisée par différentes régions à différentes altitudes et à climats variés constitue un lieu privilégié au développement de la pomme de terre (Amirouche, 2009). On distingue en Algérie, deux grandes zones de production : les zones littorales et sublittorales dont 42000 ha sont réservés à la production de pomme de terre, soit 61% de production nationale, les zones des plaines intérieures et les hauts plateaux ; dont 14000 ha réservés à la pomme de terre, soit 17% de la production nationale. Il y'a l'apparition de nouveau bassin au sud, où la production de pomme de terre a été initiée il y'a une vingtaine d'années et qui est représentée par la wilaya d'El Oued avec une surface de 6749 ha, soit 8,2% de la production nationale (ITCMI, 2013). Contrairement aux pays subtropicaux, où la pomme de terre est cultivée en une seule saison, en Algérie, elle est cultivée en trois types de cultures : la saison, l'arrière saison et la primeur.

En 2012/2013, la production nationale en pomme de terre a atteint 4,5 Mt (Figure 2) dont 0,45 Mt de semence sur une superficie de 125 000 ha (Figure 3) (ITCMI, 2013). De 2010-2013 la production a augmenté de 29% alors que les superficies n'ont augmenté que de 19,41% ce qui montre que ces gains de production découlent plus de l'amélioration des rendements (ITCMI, 2013). En 2012, l'Algérie figure au 14^{ème} rang de la classification des producteurs de la pomme de terre dans le monde et premier producteur en Afrique (FAOSTAT, 2014).

Le rendement moyen en Algérie toute tranche de culture confondue se situe autour de 28 tonnes par hectare avec des records pouvant atteindre 60 tonnes par hectare (ITCMI, 2013). En Algérie, plus de 150 variétés sont autorisées à la production mais les plus demandées sont Spunta, Timate, Fabula pour les variétés à peau blanche et Désirée, Kondor, Bartina, Sarpomira, Kuroda pour les variétés à peau rouge (ITCMI, 2013).

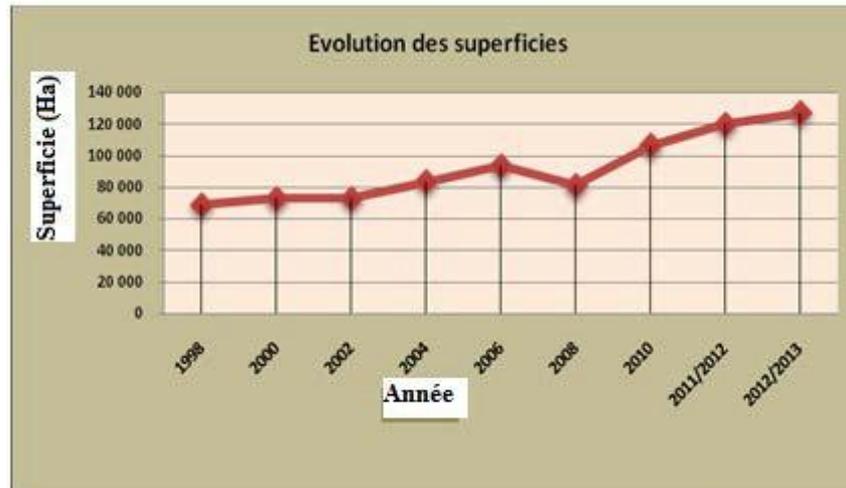


Figure 2 : Evolution de la superficie de pomme de terre en Algérie (ITCMI, 2013).

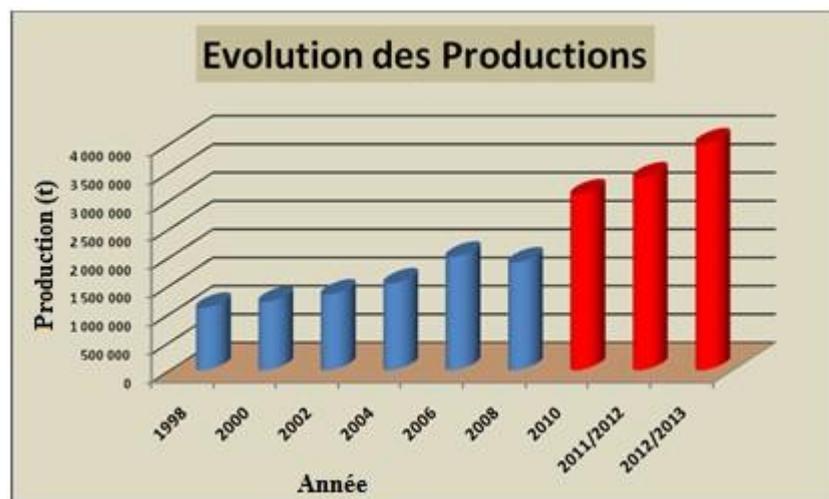


Figure 3 : Evolution de la production de pomme de terre en Algérie (ITCMI, 2013).

I.1.3. Dans la wilaya d'Ain Defla

La wilaya d'Ain Defla est connue par sa production abondante de pomme de terre. Selon les données statistiques des services agricoles de la wilaya, elle couvre plus de 25% des besoins du marché national, c'est la deuxième zone productrice au niveau nationale après El Oued et elle occupe la première place en termes de superficie. La pomme de terre est cultivée selon deux types de culture ; la saison et l'arrière saison. Les rendements de la culture de saison sont plus importants que ceux de l'arrière saison (Figure 6).

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

L'analyse des données statistiques de la Direction des Services Agricoles de la wilaya d'Ain Defla, relatives aux superficies consacrées à cette culture, à sa production et aux rendements pour la période (2001-2014) (Figures 4, 5 et 6) montre des fluctuations d'une année à une autre. Cependant d'une manière générale, une augmentation sensible des superficies et de la production est notée de 2008 à 2014 pour atteindre des chiffres record pour les deux campagnes 2012-2013 et 2013-2014. Les rendements n'ont pas régulièrement suivi l'extension des surfaces cultivées. Les rendements les plus élevés sont obtenus durant les campagnes 2008-2009 et 2002-2003 pour la pomme de terre de saison et en 2002-2003 pour la pomme de terre d'arrière saison. L'augmentation de la production lors des deux campagnes agricoles n'est pas due à l'amélioration des rendements.

Durant les campagnes 2005-2006 et 2006-2007, la production a diminué sensiblement à cause de l'infestation de la culture par la maladie fongique « le mildiou ».

Malgré les nombreux efforts déployés dans la wilaya d'Ain Defla pour la filière pomme de terre par les différentes réformes et programmes de développement mis en œuvre comme la réorganisation de la DSA qui a libéré les initiatives et les programmes du FNDA/FNRPA, les rendements obtenus restent faibles en les comparant aux rendements obtenus à l'échelle mondiale et parfois même par rapport aux pays voisins.

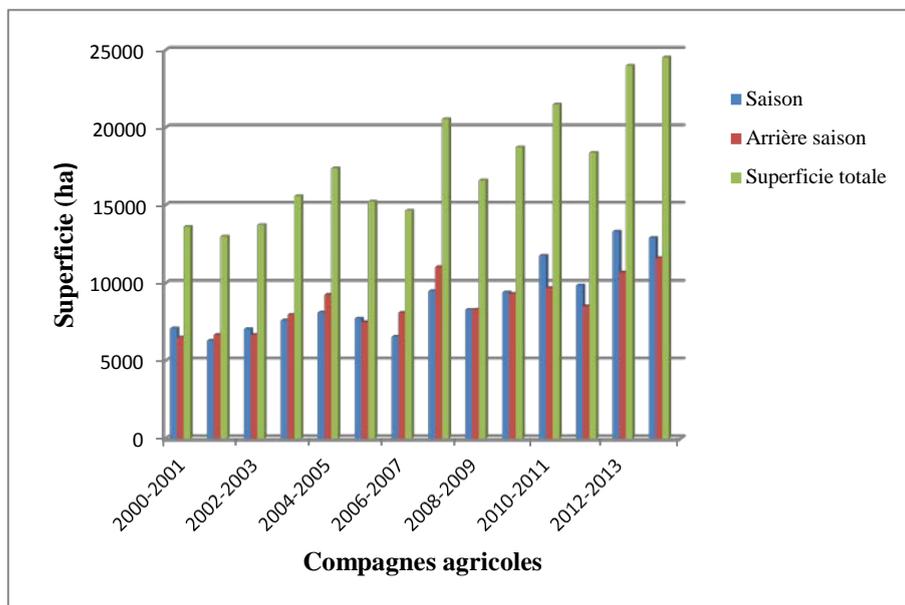


Figure 4: Evolution de la superficie de pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla (établi à partir des données statistiques de la DSA d'Ain Defla, 2014).

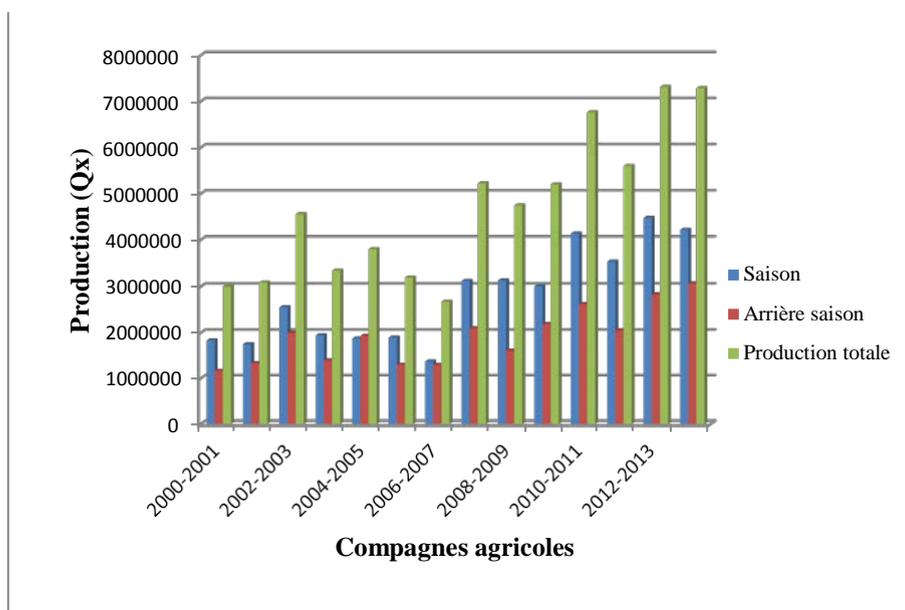


Figure 5: Evolution de la production de pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla (établi à partir des données statistiques de la DSA d'Ain Defla, 2014).

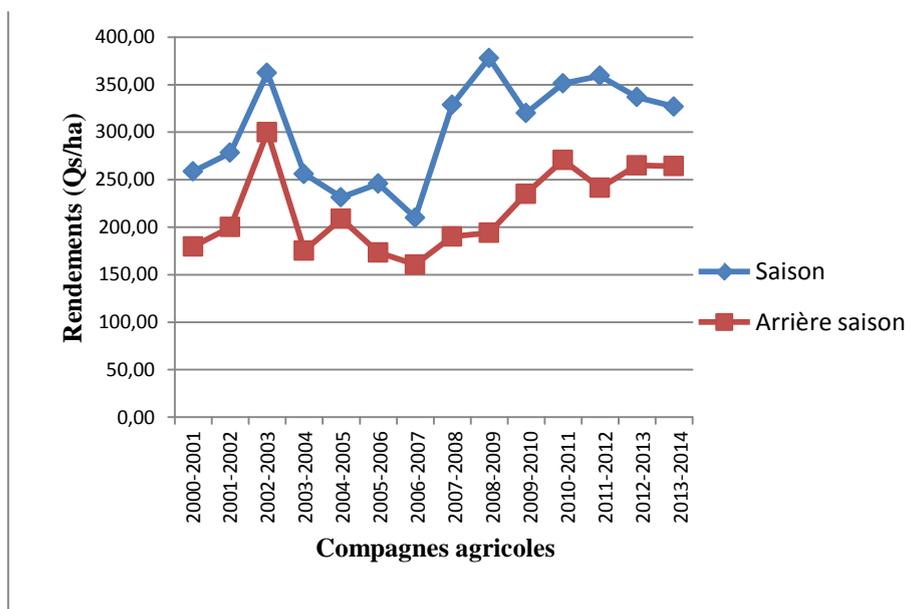


Figure 6: Evolution des rendements de la pomme de terre de saison et d'arrière saison dans la wilaya d'Ain-Defla (établi à partir des données statistiques de la DSA d'Ain Defla, 2014).

I.2. Généralités sur les nématodes à kystes de la pomme de terre

I.2.1. Position systématique et synonymie

Étymologiquement, le nom du genre *Globodera* est dérivé de latin: globus = sphaera et le grec: deras = peau (Siddiqi, 2000), et il représente la structure et la forme de la femelle. Les noms d'espèces sont dérivés d'adjectifs Latins: pallidus = pâle, indiquent la couleur blanche d'un jeune kyste, et *rostochiensis* = de la localité de Rostock en Allemagne (Oro et Oro Radovanovic, 2012).

Selon Agrios (2004), le genre *Globodera* est classé comme suit :

Embranchement :	Nemathelminthes
Classe :	Nematoda
Sous classe :	Secernentea
Ordre :	Tylenchida
Super famille :	Tylenchoidea
Famille :	Heteroderidae
Sous famille :	Heteroderinae
Genre :	<i>Globodera</i>
Espèces :	<i>Globodera rostochiensis</i> , <i>Globodera pallida</i>

I.2.2. Origine

L'origine des nématodes à kystes de la pomme de terre est incertaine. Plusieurs auteurs, dont Stone (1975), Bladwin et Mundo-Ocampo (1991) et Turner et Evans (1998), reportent que le centre d'origine des deux espèces de nématodes à kystes de pomme de terre se trouve dans la chaîne des Andes en Amérique du Sud et elles furent introduites en Europe sur des pommes de terre au milieu du 19^{ème} siècle probablement. A partir de l'Europe, ces nématodes furent disséminés avec des pommes de terre de semence vers d'autres régions (CABI et OEPP, S.D.). Actuellement leur présence est signalée sur tous les continents (Chauvin et *al.*, 2008). Cependant, Schneider et Mugniery (1971) expliquent que deux hypothèses sont vraisemblables, si l'on tient compte de développement apparemment soudain du parasite et de la stabilité de l'espèce : soit introduite de l'Andes ou apparition subite en Europe, par mutation accidentelle d'une autre espèce d'*Heterodera*.

I.2.3. Répartition géographique

I.2.3.1. Dans le monde

La répartition actuelle comprend les zones tempérées jusqu'au niveau de la mer et les zones tropicales à des altitudes supérieures. A l'intérieur de ces zones, la répartition est liée à celle de la culture de pomme de terre (CABI et OEPP, S.D).

• ***Globodera rostochiensis***

OEPP: Albanie, Algérie, Allemagne, Autriche, Belarus, Belgique, Bulgarie, Chypre, Danemark, Egypte, Espagne (y compris les îles Canaries), Estonie, Finlande, France, Grèce (y compris la Crète), Hongrie (un seul site), Iles Féroé, Islande, Irlande, Lettonie, Liban, Libye, Lituanie, Luxembourg, Malte, Maroc, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal (y compris Madeira; non confirmé aux Azores), République tchèque, Royaume-Uni (Angleterre, Iles anglo-normandes), Russie (Extrême-Orient, Russie centrale, Russie méridionale, Russie septentrionale, Sibérie occidentale, Western orientale), Slovaquie, Suède, Suisse, Tunisie, Ukraine, Yougoslavie (non confirmé). Signalé en Israël en deux occasions en 1954 et 1965 dans une petite zone de la région de Sharon, éradiqué avec succès.

Asie: Chypre, Inde (Kerala, Tamil Nadu), Japon (Hokkaido), Liban, Pakistan, Philippines, Sri Lanka, Tadjikistan, Russie (Extrême-Orient, Sibérie occidentale, Sibérie orientale).

Afrique: Afrique du Sud, Algérie, Egypte, Libye, Maroc (interceptions uniquement), Sierra Leone, Tunisie.

Amérique du Nord: Canada (Newfoundland, British Columbia Vancouver Island uniquement), Mexique, Etats-Unis (New York; éradiqué dans le Delaware).

Amérique Centrale et Caraïbes: Costa Rica, Panama.

Amérique du Sud: dans toute la zone andine d'altitude: Argentine, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Equateur, Pérou, Venezuela. Répartition plus méridionale que celle de *G. pallida*.

Océanie: Australie (deux attaques, l'une en Western Australia en 1986, l'autre en Victoria en 1991; dans les deux cas des programmes officiels d'éradication sont en cours), Ile Norfolk, Nouvelle-Zélande.

UE: présent.

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

• *Globodera pallida*

OEPP: Algérie, Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Espagne (y compris les îles Canaries), France, Grèce (uniquement en Crète), Irlande, Islande, Iles Féroé, Italie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal (continental), Royaume-Uni

ff rostochiensis et *Globodera pallida* 3

(Angleterre, Ecosse, Iles anglo-normandes), Russie (Russie européenne, non confirmé), Slovaquie, Suède, Suisse, Tunisie, Yougoslavie.

Asie: Chypre, Inde (Himachal Pradesh, Kerala, Tamil Nadu), Pakistan.

Afrique: Afrique du Sud, Algérie, Tunisie.

Amérique du Nord: Canada (Newfoundland).

Amérique Centrale et Caraïbes: Panama.

Amérique du Sud: dans toute la zone andine d'altitude. Argentine, Bolivie, Chili, Colombie, Equateur, Pérou, Venezuela. Répartition plus septentrionale que celle de *G. rostochiensis*.

Océanie: Nouvelle-Zélande.

UE: présent.

I.2.3.2. En Algérie

En Algérie, ce nématode a été découvert pour la première fois en 1953 à Maison-Carrée, Alger suite à l'introduction de semences de pomme de terre d'origine britannique à la fin de la deuxième guerre mondiale. Suite à une étude de 4000 échantillons du sol, l'infestation semblait limitée à sept communes. Une année après, il a été disséminé dans le littoral algérois (Frezal, 1954). En 1961, Scotto Lamassese révèle que les surfaces contaminées se sont étendues très rapidement touchant 33 communes aux environs d'Alger. Les pratiques culturales étaient à l'origine de cette dissémination, en effet, la pomme de terre se cultivait deux fois dans la même année sur les mêmes champs. Après, les services de protection de végétaux ont révélé la dissémination de ces parasites dans plusieurs wilayas du pays à vocation pomme de terre dont les plus importantes sont Aïn Defla, Tipaza, Chlef, Mascara et Sétif (I.N.P.V., 2009).

I.2.4. Plantes hôtes

Les deux espèces ont une gamme d'hôtes limitée à la famille des Solanacées (Rousselle et al., 1996). On les trouve sur tous les *Solanums* tubéreux dont la pomme de terre, sur quelques espèces non tubéreuses cultivées comme la tomate et l'aubergine ou adventices comme la douce-amère *Solanum dulcamara*, *Datura tatula* et *Datura stramonium* sont rapportées comme hôtes de *Globodera rostochiensis*.

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

Une étude récente (Sullivan et *al.*, 2007) cite 170 espèces comme hôtes potentiels des nématodes de genre *Globodera*. Beaucoup d'entre elles sont sauvages et la majorité appartiennent au genre *Solanum* et seulement quelques unes aux genres *Datura*, *Hyoscyamus*, *Lycopersicon*, *Physalis*, *Physoclaina*, *Salpiglossis*, et *Saracha*, tous de la famille des Solanacées.

Cette spécificité est essentiellement due aux exsudats radiculaires des Solanacées qui entraînent une éclosion massive et rapide des larves infestantes situées dans les kystes, éclosion moins forte avec *Globodera pallida* que *Globodera rostochiensis*. L'importance de cette éclosion varie énormément avec la plante testée. Avec la pomme de terre, elle est de l'ordre de 80% à 90%. Avec l'aubergine, elle est très faible, de l'ordre de 5% (Rousselle et *al.*, 1996).

I.2.5. Morphologie des nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*

Les nématodes *G. rostochiensis* et *G. pallida* sont des endoparasites sédentaires des racines, caractérisés par un dimorphisme sexuel des adultes (Schneider et Mugniery, 1971, Blanchard, 2007). Les mâles sont filiformes, mobiles et atteignent 1 mm de long (Bonnemaison, 1962 ; Schneider et Mugniery, 1971) et à proximité de la queue, courte et émoussée, s'observent les organes copulateurs (OEPP, SD).

Les femelles sont sphériques avec un cou qui fait saillie et qui contient l'œsophage et les glandes associées; et leur diamètre est de 450 µm (OEPP, 2004). La couleur des femelles à maturité différencie les deux espèces et désigne leur nom commun : « Nématode doré de la pomme de terre » pour *G. rostochiensis* (Figure 8A) et « Nématode blanc de la pomme de terre » pour *G. pallida* (Figure 7B) (Franco, 1986 ; Bélair, 2005 ; Chauvin et *al.*, 2008).

Après fécondation, les femelles se transforment en sacs sphériques, résistants, de couleur brune rouge appelés kystes de 0,3 à 0,9 mm de diamètre qui contiennent de cinquante à mille œufs (Figure 8A), renfermant chacun une petite larve repliée sur elle-même (Figure 8B) qui peut rester à l'état de vie ralentie pendant de nombreuses années (Schneider et Mugniery, 1971).

Les formes juvéniles de deuxième stade sont vermiformes et de 470 µm de longueur environ; leur bouche contient un puissant stylet pour piquer les parois cellulaires et leur queue est effilée (CABI et OEPP, S.D).



Figure 7 : Femelles matures de *Globodera rostochiensis* (A) et de *Globodera pallida* (B) sur racine (Pickup et Hockland, 2002).

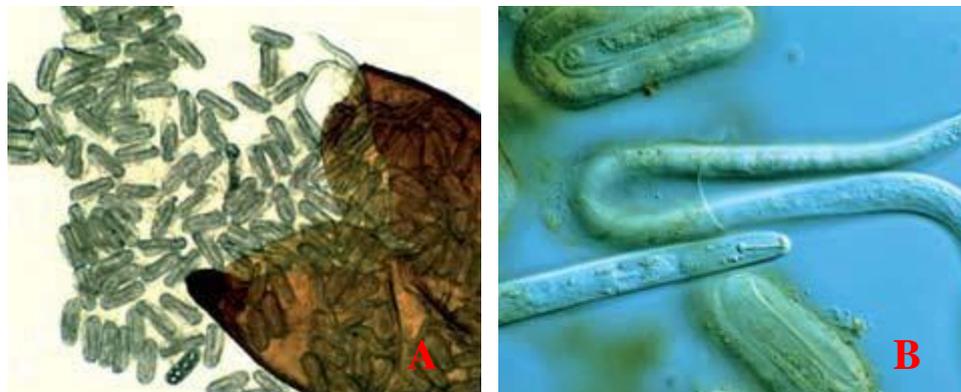


Figure 8 : kyste écrasé montrant les œufs (A) et juvéniles J2 (B) de nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera* spp. (Hodda et Lawrence, 2009).

I.2.6. Biologie

La biologie de *Globodera rostochiensis* et de *G. pallida* est pratiquement identique. Le cycle biologique commence par le deuxième stade larvaire qui sort des œufs situés à l'intérieur des kystes. L'éclosion de ce deuxième stade larvaire est stimulée par les exsudats racinaires de la pomme de terre en croissance (Robinson, 1986 ; Perry, 1986 ; Lamondia et *al.*, 1987 ; Olsson, 2009). Certains œufs restent dans les kystes et éclosent les saisons suivantes (Schneider et Mugniery, 1971 ; Franco, 1986 ; Chauvin et *al.*, 2008). Attirés par les exsudats des racines, les juvéniles J2 perforent puis pénètrent dans les racines pour se nourrir et se développer. Ils choisissent une cellule qu'ils piquent à l'aide de leur stylet pour induire la formation de leur site nourricier, appelé syncytium, auquel ils resteront fixés jusqu'à la fin de leur développement (Franco, 1986 ; Blevé-Zacheo et *al.*, 1990 ; Williamson et Gleason, 2003 ; Chauvin et *al.*, 2008 ; Rasmann et Ali, 2012). Après trois mues, ils se transforment en des L3, L4 puis en adultes. Le

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

Le sexe des nématodes à kystes de la pomme de terre est déterminé pendant le troisième stade juvénile, par la quantité de nourriture disponible. Des conditions nutritionnelles favorables conduisent au développement de femelles. Au contraire, des facteurs défavorables induisent la formation de mâles (Franco, 1986). Les femelles font éclater les radicules et ne restent accrochées à celles-ci que par le cou de la tête. Quant aux mâles, ils sortent des radicules pour s'accoupler aux femelles accrochées. Après l'accouplement, les mâles meurent et les femelles demeurent sur les racines pendant que les œufs se développent dans leur intérieur. Après la mort de la femelle, le corps sphérique à l'origine blanc ou jaune voit sa cuticule changer chimiquement : elle fonce. La femelle morte devient un kyste brun et dur contenant les œufs (Ritter, 1971 ; Stone, 1973). A ce moment, les kystes se détachent de la surface de la racine et se retrouvent dans la terre, où soit éclosent immédiatement pour attaquer la culture, soit demeurent dormants pour jouer le rôle de source d'inoculum pour les cultures futures (Ritter, 1971 ; Stone, 1973). Les kystes sont très résistants aux conditions défavorables du milieu particulièrement à l'action de la température et de la sécheresse. En zones tempérées, ils peuvent rester viables pendant 15-20 ans (Stone, 1973).

Un cycle de la vie, qui est une génération, se produit par saison, en prenant 6 à 10 semaines (Franco, 1986). En fonction des conditions climatiques, ce parasite peut avoir une ou deux générations par an (Greco et al., 1988 ; Franco et al., 1998 ; Turner et Evans, 1998). En Algérie, où l'on pratique souvent deux cultures de pomme de terre la même année, il y a au moins deux générations.

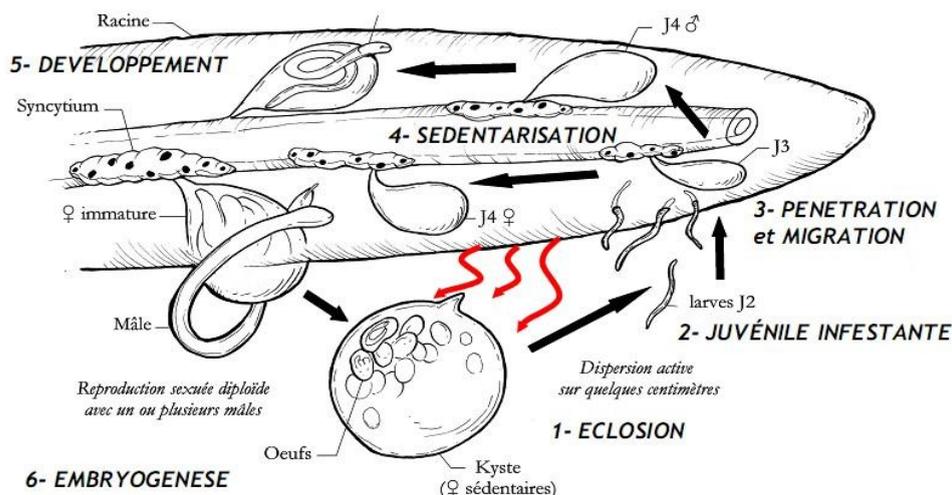


Figure 9: Cycle biologique des nématodes à kyste du genre *Globodera* (Picard, 2005).

(Les flèches rouges symbolisent l'émission d'exsudats radiculaires par la plante hôte qui sont ensuite perçus par les nématodes dans le kyste).

I.2.7. Moyens de déplacement et de dispersion

Le seul déplacement connu est celui de juvéniles attirés par les racines dans le sol sur de très petite distance (CABI et OEPP, S.D). La dispersion se fait sous la forme de kyste. Ils sont transportés passivement lors du travail des terres dans la boue qui se fixe aux outils, aux sabots des animaux, aux chaussures des travailleurs ou bien par les eaux d'irrigation, ou par le vent en terrain léger (Schneider et Mugniery, 1971; Lehman, 1994). La dispersion se fait aussi par le transport des kystes avec les tubercules de pommes de terre (Brodie, 1993 ; Karanastasi, 2011), ou, plus généralement, dans la terre adhérant aux racines, bulbes et tubercules des plantes cultivées dans les champs contaminés, ce qui par suite de développement des échanges internationaux, explique l'apparition du parasite dans un grand nombre de pays (Schneider et Mugniery, 1971).

I.2.8. Dégâts et importance économique

Les nématodes à kystes de la pomme de terre parasitent les racines des plantes qu'ils endommagent en causant un retard de la croissance, un stress hydrique, un déficit en nutriments et une sénescence rapide des plantes (Schneider et Mugniery, 1971 ; Mateille, 1994 ; Franco, 1986). Ainsi, s'ils restent incontrôlés, ces parasites sont capables de causer de lourdes pertes aux rendements de la pomme de terre (Greco et al., 1993 ; EFSA, 2012 ; Hajihassani et al., 2013). L'étendue des dégâts, en particulier en relation avec le poids de tubercules produits, est fortement liée à la quantité d'œufs du nématode par unité de sol. On estime une perte d'environ 2 t/ha de pomme de terre pour chaque 20 œuf par g du sol (Brown, 1969 in CABI et OEPP, S.D). En France, le seuil de nuisibilité est estimé à 10 larves de deuxième stade (L2) par gramme de sol (Mugniery, 1975 ; Mugniery, 1982). En Europe, les pertes de rendement causées par ces espèces sont approximativement 9% de la production de la pomme de terre (Turner et Rowe, 2006). Si les niveaux de populations du nématode sont très élevés, à cause de la culture répétée de pomme de terre, jusqu'à 80% de la récolte peut être perdue (CABI et OEPP, S.D). Ainsi, ils font l'objet d'une réglementation stricte de quarantaine à l'échelle internationale (Ritter et al., 1971 ; Bélair, 2005; Bélair, 2008 ; Chauvin et al., 2008).

I.2.9. Symptômes

Il n'y a pas des symptômes spécifiques de l'attaque des *Globodera* spp. (Mulder et al., 1997). On observe souvent des zones de croissance réduites dans un champ, parfois accompagnée de jaunissement, flétrissement ou mort du feuillage (Inagaki, 1984), mais même

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

dans le cas où les symptômes sont très faibles sur le feuillage, la taille des tubercules peut être réduite et la qualité du produit détériorée (Schneider et Mugniery, 1971 ; Fatemy et Evans, 1986). Les nématodes causent aussi un retard de croissance, voire même un endommagement du système racinaire qui se traduit par une hypersensibilité au stress hydriques (Greco, 1988) et stress nutritionnel (De Ruijter et Haverkort, 1999 ; Tobin et *al.*, 2008) induisant une déficience minérale de la plante (Hockland, 2002).

I.2.10. Facteurs influençant la densité des nématodes à kystes de la pomme de terre

L'interaction entre le parasite et son hôte est un phénomène complexe régi par de nombreux facteurs tenant au nématode (pathogénéicité) et à la plante hôte (résistance ou la tolérance des variétés) mais aussi au climat et à la nature physique et chimique du sol (Schneider et Mugniery, 1971; Franco, 1986).

I.2.10.1. Facteurs abiotiques

I.2.10.1.1. Le climat

Le climat joue un rôle important dans l'évolution de ces parasites (Schneider et Mugniery, 1971).

- **La température :** Les larves ne peuvent éclore que si la température du sol dépasse 7°C et l'optimum pour leur sortie des kystes se situe entre 15 et 20°C (Schneider et Mugniery, 1971).
- **La pluviométrie :** La pluviométrie a une influence très nette, mais moins directe, car elle est liée à la structure du sol, et s'exerce à la fois sur la vigueur de la plante, et sur l'intensité des attaques des nématodes, par le biais de la quantité d'eau disponible dans le sol, c'est-à-dire de la capacité de rétention de celui-ci (Schneider et Mugniery, 1971).

I.2.10.1.2. Les facteurs édaphiques

- **La texture du sol :** Les attaques sont plus sévères dans les sols légers et poreux qui paraissent favoriser le nématode. Or, après leur éclosion, les larves qui tendent à se diriger vers les racines, ne peuvent se mouvoir que dans un film d'eau, lequel est retenu par capillarité dans les pores du sol les plus petits, et sur le pourtour des pores les plus grands. Plus les pores de grande taille seront rares, ou au contraire plus les pores de petite taille seront nombreux, plus les larves auront des difficultés à cheminer vers les racines (Schneider et Mugniery, 1971).

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

- **L'aération du sol** : L'éclosion des larves et leur migration vers les racines sont d'autant plus rapides que la quantité d'oxygène disponible dans le sol est plus élevée (Schneider et Mugniery, 1971).
- **La composition chimique du sol** : Elle paraît avoir peu d'effet direct sur l'activité du nématode. Par contre, toute carence, quelle qu'elle soit, sera plus durement ressentie par les plantes, dont le système racinaire est réduit et déficient, alors qu'une bonne fumure bien équilibrée pourra masquer, pendant un certain temps, les conséquences des attaques (Schneider et Mugniery, 1971).

I.2.10.2. Facteurs biotiques

- **Plantes hôtes** : Les plantes hôtes sont peu nombreuses et appartiennent toutes à la famille des Solanacées. Outre la pomme de terre, la tomate peut également être attaquée, bien qu'à un degré moindre. Cette spécificité est essentiellement due aux exsudats radiculaires des Solanacées qui entraînent une éclosion massive et rapide des larves infestantes situées dans les kystes, éclosion moins forte avec *Globodera pallida* qu'une *Globodera rostochiensis* (Clark et Perry, 1977 in Rousselle et al., 1996).

I.2.11. Techniques d'identification des espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre

I.2.11.1. Identification morphologique

L'identification des espèces est possible par l'observation de la couleur des femelles au stade de développement qui correspond, soit un passage du blanc au jaune chez *G. rostochiensis* ou blanc continu (légèrement crème mais jamais jaune) chez *G. pallida*. L'espèce peut aussi être identifiée par des caractéristiques morphologiques et morphométriques des juvéniles de deuxième stade et des kystes (Greco, 1988 ; OEPP, 2004).

La plus importante différence entre les deux espèces se situe au niveau de la zone périnéale (Fleming et Power, 1998 ; OEPP, 2004). Les principaux caractères qui distinguent les deux espèces sont : le nombre et la forme des stries sur l'axe anus-vulve, la distance entre l'anus et la vulve, le diamètre de la fenêtre vulvaire, le rapport de Granek (distance vulve anus / diamètre de la fenêtre vulvaire) (Fleming et Power, 1998) (Tableau 2).

L'identification se fait aussi à partir des juvéniles de deuxième stade, les caractères principaux pris en considération sont la longueur du stylet et la forme des boutons basaux du stylet (Baldwin et Mando-Ocampo, 1991 ; Fleming et Power, 1998) (Tableau 2).

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

L'examen des juvéniles de deuxième stade, mâles et femelles avec microscope électronique à balayage peut distinguer clairement entre les différentes espèces appartenant au genre *Globodera* (Othman et al., 1988).

Tableau 2: Différentiation entre les deux espèces *Globodera rostochiensis* et *G. pallida* (Baldwin & Mando-Ocampo, 1991 ; Fleming et Power, 1998).

	<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. pallida</i>
Forme des boutons basaux du stylet des J2	Surface antérieure ronde	Surface antérieure plate à concave
Longueur du stylet des J2	21-23 (22)	21-6 (> 23)
Nombre de stries entre l'anus et la bordure de fenêtre	12-31 (>14)	8-20 (<14)
Diamètre de la fenêtre vulvaire	8-20 (<19)	18-21 (> 19)
Distance entre l'anus et la bordure de fenêtre	37-77(>55)	22-67(<50)
Le rapport de Granek (distance vulve anus / diamètre de la fenêtre vulvaire)	1,3-9,5 (> 3)	1,2-3,5 (<3)

I.2.11.2. Identification par des méthodes biochimiques

La distinction entre les espèces de *Globodera* peut se faire par des méthodes biochimiques. La caractérisation d'hydrate de carbone, de lipides, de protéines ont trouvé des applications (Burrows et Boffey, 1986). L'électrophorèse des protéines est la plus utilisée pour identifier et différencier les espèces des NKPTs (Subbotin et al., 1999 ; Grenier et al., 2001 ; Cunha et al., 2006).

I.2.11.3. Identification par des méthodes immunologiques

Les différences des protéines des espèces peuvent être détectées par des méthodes immunologiques. La technique ELISA (Enzyme Linked Immuno Substrate Assay) est utilisée (Schots et al., 1992 ; Ibrahim et al., 2001 ; OEPP, 2004).

I.2.11.4. Identification moléculaire

Les marqueurs moléculaires sont actuellement largement utilisés pour la caractérisation et l'identification génétique des espèces des nématodes. Une grande gamme de techniques basées sur l'ADN sont disponibles pour détecter des variations génétiques qui peuvent être exploitées ou adaptées pour des buts taxonomiques (Powers et Fleming, 1998 ; Abrantes et al., 2004).

Chapitre I : Données bibliographiques sur les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* et leur plante hôte

Depuis les années 1990, les diagnostics basés sur l'analyse de l'ADN ont fourni une solution attractive aux problèmes et limites associées aux méthodes conventionnelles d'identification des nématodes à kystes (Turner et Rowe, 2006).

I.2.11.4.1. PCR (Polymérase Chain Reaction ou Réaction en Chaîne par Polymérase)

La PCR est une technique qui permet de créer plusieurs copies à partir d'un fragment d'ADN. Les deux brins complémentaires de l'ADN sont d'abord séparés pour obtenir de l'ADN matrice simple brin. Des amorces (petit morceau d'ADN dont la séquence est complémentaire à l'extrémité 3' du fragment à amplifier) sont ajoutées, ainsi qu'une polymérase à ADN (complexe enzymatique permettant la réplication de l'ADN), des désoxyribonucléotides (unité de composition de l'ADN, dNTP, A-T-C-G) et du tampon. La réaction de polymérisation en chaîne est réalisée dans un appareil (thermocycleur) qui permet des variations rapides de température allant de 0 à 100°C. L'appareil permet la programmation de la durée et de la succession des cycles de paliers de température. Chaque cycle comprend trois périodes de quelques dizaines de secondes (la dénaturation, l'hybridation) (Fleming et Power, 1998).

Différentes techniques de PCR sont utilisées pour l'identification des nématodes à kystes de la pomme de terre telle que la PCR conventionnelle (Shields et *al.*, 1996 ; Skantar et *al.*, 2007) mais cette technique requiert une utilisation d'une électrophorèse sur gel pour la visualisation des résultats, c'est ce qui la rend plus laborieuse et elle consomme plus de temps que les nouvelles techniques de PCR tel que la PCR en temps réel (real-time PCR) qui a l'avantage de donner des résultats immédiatement sans nécessiter une étape de post amplification (Madani et *al.*, 2005 ; Madani et *al.*, 2008 ; Quader et *al.*, 2008 ; Toyota et *al.*, 2008).

I.2.11.4.2. RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphisme, ou Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction)

Le marqueur RFLP ou polymorphisme de longueur des fragments de restriction est basé sur la restriction enzymatique des ADN par des endonucléases reconnaissant des séquences courtes spécifiques. Les fragments d'ADN obtenus sont séparés par électrophorèse sur gel d'agarose. L'amplification par PCR des régions ITS1 et ITS2 de l'ADN ribosomique combinée avec la technique RFLP (PCR-RFLP) est un outil puissant pour l'identification des deux espèces des nématodes à kystes de la pomme de terre *G. pallida* et *G. rostochiensis* (Bulman et Marshall, 1997 ; Blok et *al.*, 1998; Subbotin et *al.*, 2000; Radivojevic et *al.*, 2001 ; Vejl et *al.*, 2002) et

distinguer ces deux espèces de deux autres espèces du genre *Globodera* *G. tabacum*, *G. achillae* et *G. mexicana* (Thiéry et Mugniéry, 1996 ; Širca et al., 2010).

I.2.11.4. 3. Séquençage

Le séquençage est un moyen de décodage des acides nucléiques permettant la découverte des gènes d'un organisme. Les technologies de séquençage d'ADN ont été créées au milieu des années 1970 par deux équipes travaillant séparément, l'équipe de Walter Gilbert et l'équipe de Frederick Sanger (Sbabou, 2009). Plusieurs auteurs ont utilisé les techniques du séquençage pour l'étude de la variabilité génétique inter et intra spécifiques chez les nématodes ainsi que les relations phylogénétiques entre les différentes espèces y compris les nématodes à kystes de la pomme de terre (Thiéry et Mugniéry, 1996 ; Subbotin et al., 2000 ; Grenier et al., 2001; Kovaleva et al., 2005 ; Skantar et al., 2007 ; Quader et al., 2008 ; Picard et al., 2008; Plantard et al., 2008; Grenier et al., 2010; Madani et al., 2010).

I.2.12. Moyens de lutte

I.2.12.1. Lutte préventive

La lutte phytosanitaire contre les nématodes implique l'observation de la quarantaine pour empêcher l'introduction et la dissémination d'un nématode phytoparasite en particulier dans les zones de culture indemnes d'une espèce donnée. Dans le cas des nématodes à kystes de la pomme de terre, parasites de quarantaine, la surveillance commence aux frontières pour refouler tout plant ou toute semence contaminée (OEPP, 2004).

A l'échelle de l'exploitation, la lutte est basée sur la prophylaxie, il convient d'abord de planter dans une parcelle saine donc des analyses du sol doivent être réalisées régulièrement afin de détecter leur présence éventuelle, utiliser des plants certifiés indemnes de ces nématodes. De même, l'hygiène et la gestion des sources de contamination sont des éléments à considérer dans le cadre de la lutte contre ces parasites : Les repousses de pomme de terre doivent être éliminées car elles peuvent héberger ces nématodes, de même que les Solanacées spontanées (morelle) ou cultivées. Les kystes étant véhiculés par la terre d'une parcelle contaminée, il faut soigneusement nettoyer le matériel de travail du sol, les chaussures, les roues des tracteurs (Rousselle, 1996 ; Lambian, 2006).

I.2.12.2. Lutte curative

I.2.12.2.1. Lutte chimique

Deux types de nématicides sont utilisés : les fumigants et les non fumigants. Les fumigants sont des produits bromés ou chlorés et les non fumigants sont des carbamates ou des produits phosphorés (Franco, 1986). Ces produits sont utilisés avant ou pendant la culture, selon leur phytotoxicité. Ils agissent soit en stérilisant le sol, soit par contact, soit en désorientant les nématodes qui deviennent incapables de trouver leur plante hôte (Been et Schomaker, 1999). Parmi les nématicides utilisés pour le contrôle des nématodes à kystes de la pomme de terre, aldicarb et oxamyl (carbamates) et fosthiazate et ethoprophos (organophosphorés) (Haydock et *al.*, 2006 in Deliopoulos et *al.*, 2010).

Sur la culture de pomme de terre, les nématicides sont efficaces pour détruire jusqu'à 80% des nématodes à kystes. Malheureusement, à partir de 20% restant la population initiale peut être reconstituée en une année (Mugniery et *al.*, 2006). D'autre part, le coût et l'impact négatif élevé sur l'environnement ne sont pas favorables (Blanchard et *al.*, 2007).

I.2.12.2.2. Méthodes culturales

- **La rotation**

La rotation des cultures sur une même sole a été longtemps appliquée d'une façon empirique pour lutter contre la fatigue des sols. Elle apparaît également comme une des méthodes générales de lutte contre les nématodes. La rotation culturale se fait au minimum de quatre ans. Elle permet de réduire la population de nématodes à condition que le contrôle des repousses de pomme de terre soit très bien maîtrisé (Ritter, 1971). Durant cette période d'attente, on ne peut pas non plus cultiver d'autres plantes hôtes (tomates, aubergines).

- **Plantes pièges**

La technique de culture piège consiste à réaliser une plantation à haute densité de petits tubercules, fortement pré germés afin de piéger les larves dans la plante puis détruire la culture cinq semaines plus tard avant la fin du cycle des parasites. Après destruction de la culture, les diminutions de populations mesurées sont de l'ordre de 70 à 80 % (Chauvain et *al.*, 2008) soit un niveau d'efficacité similaire à celui d'une variété résistante à haute densité (Bélaïr, 2013).

- **Jachère**

Les longues jachères jouent un rôle important dans la destruction de ces parasites. La dessiccation, la chaleur et l'absence de plantes-hôtes réduisent les populations de nématodes. En Algérie, la jachère estivale détruit 50% des œufs (Mugniéry et Zaouchi, 1973 in Mugniéry, 1982), ce qui aboutit à 80% de réduction annuelle.

I.2.12.2.3. Méthodes physiques

Le traitement du sol à la chaleur, le traitement des plantes à l'eau chaude, l'électricité, les radiations et les ultrasons sont des méthodes de lutte physique contre les nématodes. Mais ces méthodes ne sont efficaces que lorsqu'elles sont utilisées en espaces restreints tels que les serres et les pépinières.

Pour les NKPTs, la solarisation présente une alternative intéressante, il s'agit d'un processus qui utilise la radiation solaire capturée sous film plastique pour chauffer le sol en profondeur. Cependant, le résultat est aléatoire car fortement lié aux conditions climatiques de l'année (Chauvin *et al.*, 2008).

I.2.12.2.4. Lutte génétique

Les pertes dues à *G. rostochiensis* en utilisant des variétés de pomme terre sensibles a atteint la moyenne de 38% (12–76%) alors les pertes sont de 18,3% (12–34%) dans des variétés de pomme de terre résistantes. La lutte génétique devient donc une priorité. La résistance génétique s'exprime comme l'aptitude d'un génotype à s'opposer au développement des nématodes. Des espèces apparentées à la pomme de terre cultivée (*Solanum tuberosum*) possèdent des niveaux de résistance très importants à ces parasites. Une résistance monogénique à *G. rostochiensis*, le gène *H1*, est utilisée dans les schémas de sélection depuis près d'un demi-siècle. Chez la plupart des espèces apparentées à *S. tuberosum*, la résistance à *G. pallida* est sous le contrôle de plusieurs gènes. La sélection phénotypique, très lourde à mettre en œuvre, ne permet pas de conserver tous ces gènes au cours du processus de sélection (Caromel *et al.*, 2001). Trois sources de résistance sont principalement exploitées pour la résistance au nématode à kyste *G. pallida*. Elles ont pour origine les espèces *S. vernei*, *S. spegazzinii* et *S. sparsipilum*. Leur point commun est de posséder un QTL à effet fort responsable de la masculinisation des nématodes ayant pénétré les racines. Ce phénomène de masculinisation est provoqué par un fonctionnement altéré du site nourricier, entraînant la formation préférentielle d'adultes mâles (Fournet *et al.*, 2011).

I.2.12.2.5. Lutte biologique

Dans le cadre de la recherche de méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique, les métabolites dérivés de plantes ont attiré l'attention comme de bons candidats pour le contrôle de ces parasites. En effet, plusieurs études ont confirmé les effets nématocides de nombreuses espèces végétales sur quelques espèces de nématodes phytoparasites y compris les nématodes à kystes de genre *Globodera*. Parmi ces plantes, les Brassicacées contiennent un métabolite, le glucosinolates (GLSs) qui peut être utilisé comme bionématicide (Avato *et al.*, 2013).

Les champignons prédateurs tel que *Pochonia chlamydosporia*, *Arthrobotrys conoides*, *Arthrobotrys oligospora*, *Paecilomyces lilacinus* et *Verticillium chlamydosporium* se sont révélés efficaces contre les *Globodera* spp. (Saxena, 2007 ; Chauvin *et al.*, 2008 ; Tobin *et al.*, 2008).

Ces méthodes semblent parfois efficaces au laboratoire et en milieu clos (sous serre), elles paraissent difficilement applicables au champ du fait de la présence d'antagonistes potentiels dans l'environnement (Blanchard *et al.*, 2007).

I.2.12.2.6. Lutte intégrée

L'objectif d'une lutte intégrée contre les nématodes à kystes de la pomme de terre est de ramener les densités des populations à des seuils acceptables (Evans, 1993). Pour obtenir ce résultat, on doit utiliser plusieurs mesures de contrôle. En partant des données connues, une culture sensible augmente la population de façon inversement proportionnelle à la densité de la population primitive; une culture non sensible, ou non hôte, la diminue de trente à quarante pour cent; une culture résistante augmente légèrement la population, si celle-ci est faible au départ, mais la diminue de soixante-dix à quatre-vingt pour cent, si elle est très importante (il y'a donc intérêt à la pratiquer lorsque la densité de la population atteint un taux déterminé). Un traitement chimique du sol occasionne une mortalité de quatre-vingt pour cent environ ; des modèles de rotations à appliquer, faisant alterner les traitements nématocides, les cultures sensibles, les cultures résistantes et les cultures non hôtes, ont été mis au point aux Pays-Bas, ils doivent permettre d'obtenir au cout minimum, des récoltes normales, et une diminution de la population des nématodes (Chauvin *et al.*, 2008).

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

II.1. Situation géographique

Notre étude a été réalisée dans la plaine de haut-Cheliff située dans la wilaya d'Ain Defla qui est l'une des trois plaines composant la vallée du Chélif (Haut, Moyen et Bas-Chélif) avec des altitudes moyennes respectives de 300, 160 et 70 mètres (Saidi et *al.*, 1999).

La plaine du haut-Cheliff fait partie du bassin versant du Chélif et occupe sa partie Est. Ce même bassin versant est traversé par le plus grand oued d'Algérie sur une longueur de 750 km et fait partie du grand bassin versant « Chélif-Zahrez », qui couvre une superficie d'environ 56 227 km² (soit plus de 22 % de la superficie de l'Algérie du nord) (Douaoui et *al.*, 2006).

Issue du découpage administratif de 1984, la wilaya d'Ain Defla se présente comme étant une zone relais entre l'Est et l'Ouest, le Nord et le Sud. Le territoire de la wilaya reste inséré entre les massifs montagneux du DAHRA ZACCAR au Nord et l'OUARSENIS au sud avec une plaine au centre sous forme de cuvette. Cette plaine est située à 140 km d'Alger (36° 15' 55'' N, 1° 58' 13'' E). Elle s'étend sur une superficie de 4260 km² avec une population estimée au 31/12/2007 à 777264 habitants, soit une densité de 182 H/km².

La Wilaya d'Ain Defla est limitée géographiquement au Nord par la wilaya de Tipaza, au Nord-Est par la wilaya de Blida, au Sud par la wilaya de Tissemsilt, à l'Est par la wilaya de Médéa et à l'Ouest par la wilaya de Chlef. Elle comprend 14 Daïra qui regroupent 36 communes (Figure 10).

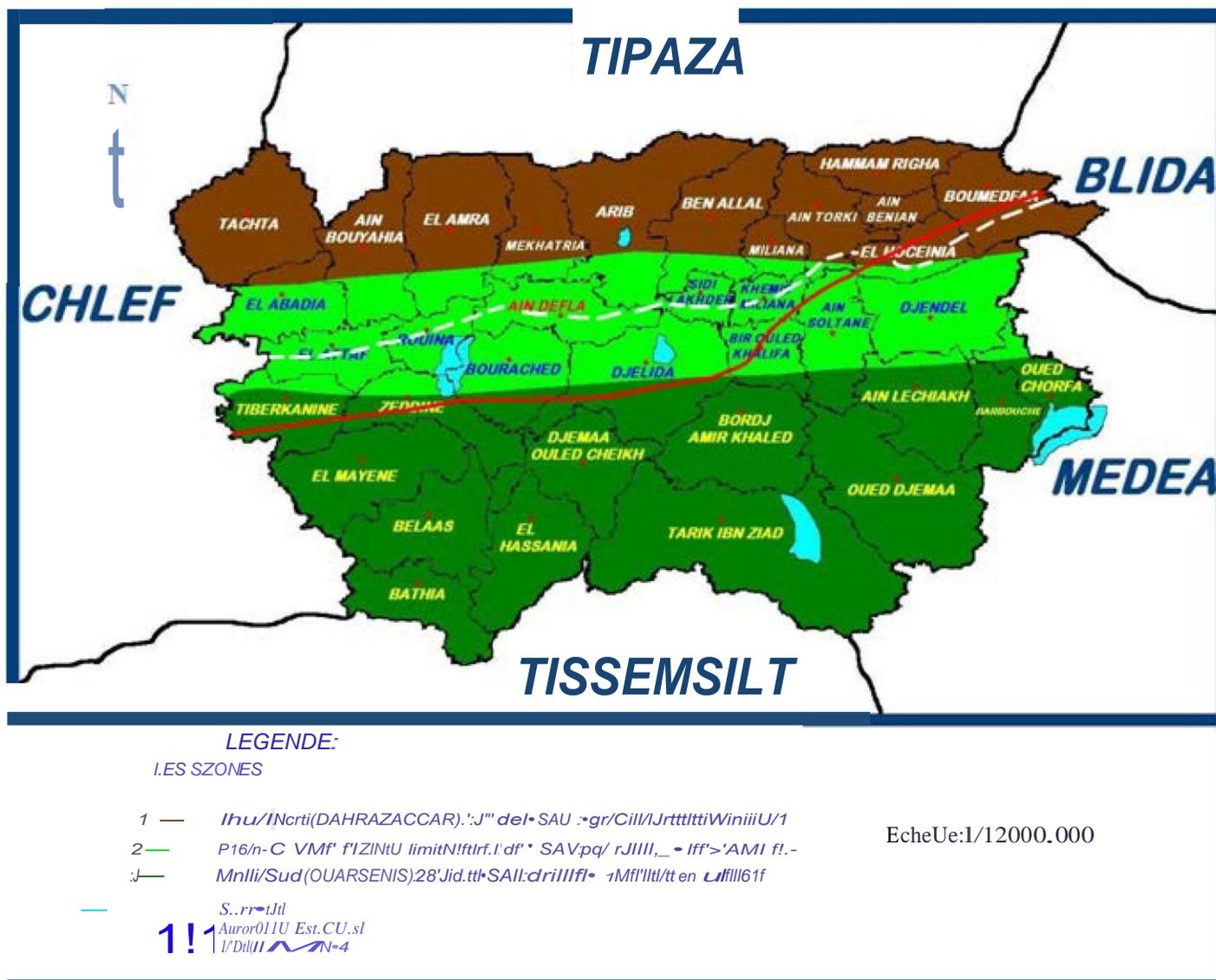


Figure 10: Situation géographique de la région d'Ain Defia (DSA d'Ain Defia, 2013).

II.2. Caractéristiques climatiques

La wilaya d'Ain Defla présente un climat méditerranéen semi-aride avec un caractère de continentalité très marqué et un écart de température de 20°C de Janvier à Août. La période sèche s'étend sur six mois, voire plus. A cela, s'ajoutent des masses d'air chaud (47 jours). L'hiver étant froid dans la partie centrale de Zaccar et les gelées sont relativement fréquentes de novembre à mai. On enregistre une moyenne de 74 jours de gel par an.

La pluviométrie est d'un régime variable et irrégulier suivant les mois et les années. Le module pluviométrique est de 300 mm. Ce type de climat perturbe sérieusement les campagnes agricoles.

II.3. Caractéristiques pédologiques

L'étude géologique effectuée par Boulaine en 1957 révèle que les sols de la région sont généralement des sols lourds, fertiles et de texture variable avec prédominance d'éléments fins (80%) dont plus de 45% d'argile. Selon des études établies par des organismes spécialisés, les meilleurs sols sont répartis de part et d'autre de l'oued Chélif sur toute la vallée du Chélif avec une superficie globale d'environ 65000 ha (DSA d'Ain Defla, 2013).

On distingue une mosaïque de textures (tableau 3) à savoir les sols limono-argileux, les sols argilo-limoneux, les sols calci-magnésiques, les sols fer-sialitiques, et les sols sablo-limoneux.

Tableau 3 : Texture du sol dans les différentes communes de la wilaya d'Ain Defla (DSA, Ain Defla, 2013).

Types de sols	Communes
Sols limono-argileux	El Attaf et Tiberkanine (avec un taux de sel élevé)-
Sols limono-argileux	Ain Beniane – Hoceinia – Boumedfâa –Techta – Ain Bouyahia – Hamam Righa – Bourached – Ain Torki
Sols argilo-limoneux	Aribs- Sidi Lakhdar – Djelida- Ain Defla – Khemis – El Amra*- Djendel (en partie)
Sols calci-	Ain Lechiakh- Oued Djemâa – Tarik Ibn Ziad – Djemâa Ouled

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

magnésique	Chikh – Belâas – EL Maine – Bethia.
Sols fer-scialitiques	Zeddine** et Rouina** (** taux élevé) - EL Amra, EL Abadia (en partie)- Mekhatria (avec un taux élevé en sable) - El Hassania – Miliana – Ben Allel.
Sols sablo-limoneux	Bir Ould Khelifa – Bordj Emir Khaled – Ain Soltane -

II.4. Ressources hydriques

La wilaya d'Ain Defla dispose de grandes réserves hydriques tant souterraines que superficielles (Maina et Jeida, 1990). En plus de l'Oued Cheliff qui représente la principale source hydrique de cette région, il existe cinq barrages en exploitation à savoir Ghrib à Oued Chorfa, Derdeur à Tarik Ibn Ziad, Sidi M'hamed Ben Taiba à Arib, Harraza à Djelida et Ouled Melouk à Zeddine. Il existe aussi trois retenues collinaires (d'une capacité de 1010.000 m³ d'eau) : Djemaa Ouled Cheikh, Tarik Ibn Ziad et Boumedfaa.

II.5. Secteur de l'Agriculture

La wilaya d'Ain Defla recouvre une superficie agricole totale (SAT) de 235 611 ha soit 55.3% de la superficie totale de la wilaya. La superficie agricole utile (SAU) est de 181 676 ha soit 76.5% de la SAT (DSA d'Ain Defla, 2013). Elle était de 170 384 ha en 1998 soit une augmentation absolue de 11 292 ha de 1998 à 2011(ANDI, 2013).

Les grandes potentialités en eaux (barrages et nappes souterraines) et la superficie agricole utile qui couvre 55 % de la totalité de la wilaya offrent de vastes possibilités agricoles. La superficie cultivée en irrigué concernait 40865 ha en 2011, soit 22.5% de la SAU (ANDI, 2013).

Selon l'Agence Nationale de Développement de l'Investissement (ANDI), la superficie agricole utile est répartie comme suit :

- Exploitations agricoles collectives (EAC) : 1 447 exploitations pour 6 242 exploitants et une superficie globale de l'ordre de 41 206 ha dont une superficie exploitée de 39 590 ha. Les exploitations agricoles individuelles (EAI) sont au nombre de 887.
- Exploitations pour une superficie globale de 5 717 ha, toutes exploitées dont 2 061 ha irrigués.

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

- Fermes pilotes : 06 fermes pilotes pour un effectif permanent de 170 personnes et une superficie totale de 5 277 ha. La superficie exploitée est de 5 215 ha dont 1 355 ha irrigués.
- Exploitations privées : le nombre de propriétaires privés est de 21 745 pour une superficie globale de 183 411 ha. La superficie exploitée est de 131 154 ha dont 22 922 ha irrigués.

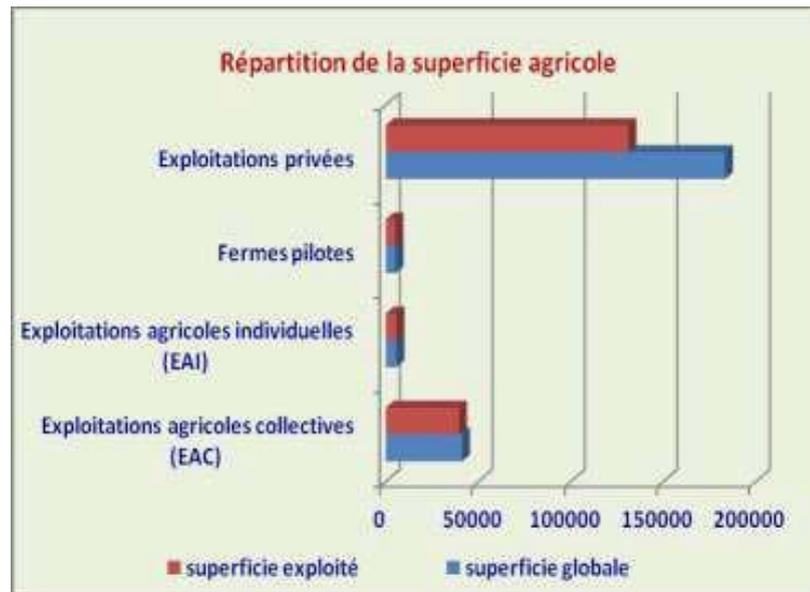


Figure 11 : Répartition de la superficie agricole utile dans la wilaya d'Ain Defla (ANDI, 2013).

Chapitre III

**Aperçu sur la distribution
géographique des nématodes à
kystes *Globodera* de la pomme de
terre dans la wilaya d'Ain Defla**

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

III.1. Objectifs

Les principaux objectifs de cette étude sont :

- L'évaluation de l'état d'infestation de quelques parcelles par les nématodes à kystes du genre *Globodera* dans les communes productrices de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.
- La contribution à l'étude de la distribution géographique de ces nématodes dans la wilaya d'Ain Defla et à la réalisation d'une cartographie de leur répartition.

III.2. Matériel et méthodes

III.2.1. Choix des sites

L'étude est effectuée dans quatorze communes de la wilaya d'Ain Defla, à savoir, Rouina, Bourached, El Amra, Ain Soltane, Bir Ould Khelifa, Bordj Emir Khaled, Ain Defla, Arib, Djelida, Djendel, Mekhatria, Zeddine, El Attaf, et Abadia, Les communes choisies sont à vocation pomme terre et figurent parmi les communes les plus productrices de ce légume dans cette wilaya.

III.2.2. Analyse nématologique

Cette analyse est indispensable pour déceler la présence des nématodes phytoparasites vu leur taille microscopique et l'absence de la spécificité des symptômes. Elle comprend trois étapes ; l'échantillonnage du sol, l'extraction des kystes et ensuite la récupération et le comptage des kystes et des œufs et juvéniles qu'ils contiennent.

III.2.2.1. Echantillonnage

L'échantillonnage est effectué dans des parcelles cultivées en pomme de terre d'arrière saison (campagne 2012-2013). Les échantillons sont prélevés dans 81 parcelles situées dans 14 communes de la wilaya d'Ain Defla à raison de six parcelles par commune sauf à El Attaf où trois parcelles uniquement sont étudiées. Les données relatives au mode de conduite de la culture dans ces parcelles sont présentées dans l'annexe 1.

La technique utilisée pour l'échantillonnage est celle de l'échantillon global qui consiste à prélever des échantillons élémentaires (de plusieurs points de la parcelle) qui vont être mélangés en un seul échantillon représentatif de la parcelle. Cette technique permet de pallier à

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

l'hétérogénéité de la répartition des nématodes dans une parcelle donnée (Merny et Luc, 1969). Les prélèvements sont effectués selon les deux diagonales de chaque parcelle (Figure 12) dans la couche du sol de 5 à 30 cm. 20 à 30 échantillons élémentaires sont prélevés à l'aide d'une binette de chaque parcelle d'environ un hectare ensuite réunis en un échantillon global. Les prélèvements sont effectués à l'approche de la récolte au niveau des zones qui sont immédiatement en contact avec le système racinaire.

Les échantillons sont ensuite acheminés au laboratoire dans des sacs en matière plastique portant des étiquettes indiquant : le lieu de prélèvement (commune et parcelle), la date d'échantillonnage ainsi que toutes les informations susceptibles d'expliquer l'importance de l'infestation par ces nématodes tel que la variété cultivée, le précédent cultural, le type d'irrigation, le type de sol).

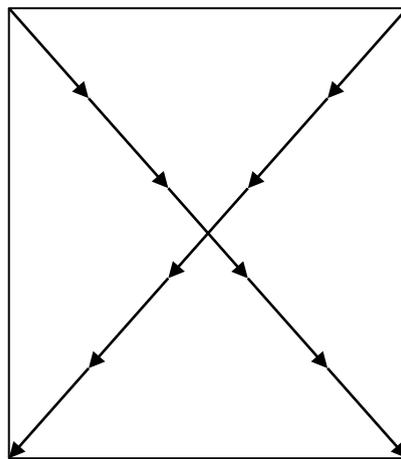


Figure 12 : Schéma d'échantillonnage au niveau des parcelles prospectées.

III.2.2.2. Extraction

Pour extraire les kystes de *Globodera* des échantillons du sol, nous avons utilisé la méthode classique décrite par Fenwick en 1940 qui est basée sur le principe de flottaison. Les kystes pleins et humides de *Globodera* ont une densité supérieure à 1,08, ils sédimentent donc très vite. Par contre, les kystes secs, ont une densité inférieure à 1 (densité de l'eau), ainsi, ils flottent à la surface de l'eau, ce qui permet leur récupération. C'est pourquoi, les échantillons doivent être mis au séchage avant qu'ils soient analysés (Nakachia et Jacquemont, 1971).

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

Un échantillon d'1 kg est retenu pour l'analyse pour chaque parcelle. Après pesage du sol séché, l'échantillon est versé dans une passoire de 1 mm de maille à travers laquelle il sera entraîné par un jet d'eau dans le corps de l'appareil. La passoire retient les gros éléments alors que les kystes et les particules fines sont entraînés dans le récipient où ils flottent et débordent à travers la gouttière de l'appareil dans un tamis de 250 microns. Le contenu de ce dernier est ensuite récupéré sur un papier filtre par le jet d'une pissette. Le filtre et son contenu sont alors mis dans une boîte de Pétri et sont laissés pour sécher naturellement à la température ambiante pendant 24 heures environ.

III.2.2.3. Récupération des kystes

Après décantation, les kystes deviennent plus légers que la matière organique. Ils sont récupérés à l'aide d'un pinceau sous une loupe binoculaire et mis dans une boîte de Pétri tapissée de papier filtre portant une étiquette où sont mentionnées des indications relatives à l'échantillon.

III.2.2.4. Dénombrement des kystes

Le dénombrement des kystes pleins et vides de *Globodera* se fait sous une loupe binoculaire. Les kystes pleins sont reconnus grâce à leur aspect turgescent et leur couleur foncée mais parfois claire (Figure 13A), alors que les kystes vides sont identifiés par leur couleur claire qui par transparence au contact d'une goutte d'eau apparaissent dépourvus des œufs ou des larves (Figure 13B). De plus, ces derniers se compriment au moindre contact avec le pinceau. Un microscope optique est également utilisé pour confirmer quand l'observation est difficile à la loupe binoculaire : les kystes sont placés individuellement entre lame et lamelle sur une goutte d'eau puis sont observés au grossissement (G: 10x10). Ainsi, la présence ou l'absence des œufs ou des larves à l'intérieur du corps de la femelle morte peuvent être confirmées. On peut aussi procéder à l'écrasement des kystes afin de s'assurer si les kystes sont pleins ou vides.

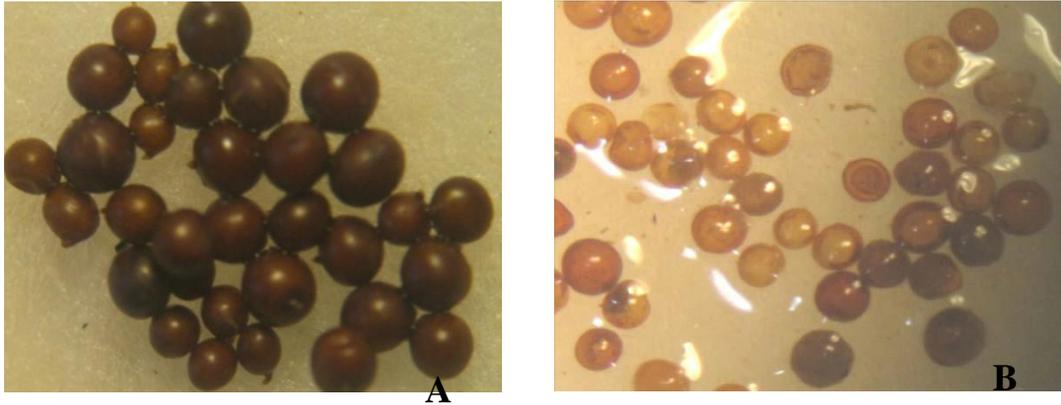


Figure 13: Différence entre les kystes pleins (A) et les kystes vides (B) de *Globodera* spp. vus sous loupe binoculaire (G : 4X10) (Original).

III.2.2.5. Dénombrement des œufs et des larves contenus dans les différents échantillons et calcul des degrés d'infestation

Le dénombrement des œufs et des larves contenus dans les kystes pleins se fait sous une loupe binoculaire. Cette opération consiste à mettre un kyste dans une goutte d'eau mise sur une lame, le sectionner en deux à l'aide d'un scalpel, libérer les œufs et les juvéniles qu'il contient ensuite les compter en séparant les œufs et les juvéniles regroupés en amas à l'aide d'une épingle (Figures 14 et 15). Pour chaque échantillon, l'ensemble des œufs et des juvéniles de chaque kyste sont comptés. Ensuite, on a calculé la somme des œufs et juvéniles contenus dans l'ensemble des kystes pour avoir une densité par kg du sol et enfin les degrés d'infestation sont obtenus en reportant cette densité à un gramme du sol afin d'estimer si le niveau des différentes populations a atteint le seuil de nuisibilité. Toutes les étapes de l'analyse nématologique sont présentées dans la figure 16.

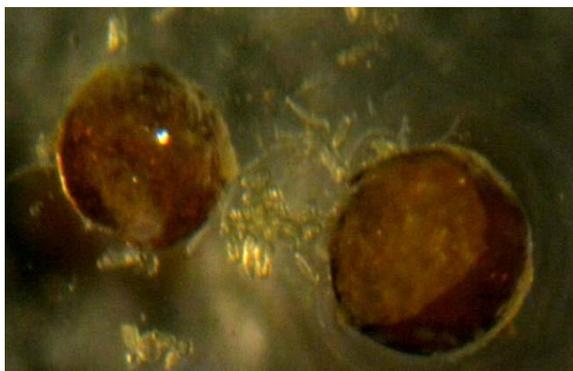


Figure 14: Kyste écrasé libérant les larves et les œufs de *Globodera* spp. vu sous loupe binoculaire (G : 4X10) (Original).



Figure 15: Larves et œufs de *Globodera* spp. vus sous microscope optique (G : X10) (Original).

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla



Figure 16 : Les étapes de l'analyse nématologique (Original).

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

III.2.2.6. Analyse statistique des résultats

L'analyse statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel STATISTICA (version 6.1). L'analyse de la variance ANOVA a été appliquée pour tester la signifiante de la variance des moyennes pour les variables étudiées (Nombre de kystes pleins, vides et totaux et le degré d'infestation) en fonction de la région. De même, pour montrer les corrélations existantes entre les différentes régions en fonction des variables liées au degré d'infestation (Nombre de kystes pleins par kg du sol et nombre d'œufs et juvéniles par g du sol), nous avons établi une analyse en composantes principales (ACP).

II.3. Résultats

III.3.1. Fréquence de l'infestation

Les kystes pleins de *Globodera* spp. sont détectés dans six des quatorze communes prospectées (El Amra, Rouina, Ain Defla, Mekhatria, Arib et El Attaf). La fréquence de l'infestation varie d'une commune à une autre. La fréquence la plus élevée est enregistrée à Rouina 83,33% où cinq sur les six parcelles prospectées se sont avérées infestées. A El Amra, Ain Defla et El Attaf, elle est de 66,67%. A Mekhatria, 33,33% des échantillons analysés sont infestés. Seulement, un échantillon sur les six analysés à Arib est infesté soit 16,67%. Toutes les parcelles situées dans les autres communes sont indemnes puisque aucun kyste plein n'y est détecté. 18 parcelles sur un total de 81 prospectées, soit 22,22%, étaient infestées par les NKPTs (Tableau 4).

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

Tableau 4: Fréquence de l'infestation dans les différentes communes prospectées.

Commune	Nombre d'échantillons prélevés	Nombre d'échantillons non infestés	Nombre d'échantillons infestés	% des échantillons non infestés	% des échantillons infestés
El Amra	6	2	4	33,33	66,67
Rouina	6	1	5	16,67	83,33
Ain Defla	6	2	4	33,33	66,67
El Attaf	3	1	2	33,33	66,67
Mekhatria	6	4	2	66,67	33,33
Bourached	6	6	0	100	0
Bordj Amir Khaled	6	6	0	100	0
Bir Ouled Khalifa	6	6	0	100	0
Arib	6	5	1	83,33	16,67
Djendel	6	6	0	100	0
Ain Soltane	6	6	0	100	0
Zeddine	6	6	0	100	0
El Abadia	6	6	0	100	0
Djelida	6	6	0	100	0
Total	81	63	18	77,78	22,22

III.3.2. Importance de l'infestation en fonction des communes prospectées

III.3.2.1. Dénombrement des kystes pleins et vides

III.3.2.1.1. Comparaison de la densité moyenne par commune

La première estimation de l'importance de l'infestation dans les communes prospectées est effectuée en dénombrant les kystes de *Globodera* collectés dans les différents échantillons analysés. Les kystes vides et pleins sont séparés car les parcelles déclarées infestées sont uniquement celles où sont détectés des kystes pleins (contenant des œufs ou des juvéniles viables). Les résultats relatifs aux nombres moyens des kystes vides, pleins et totaux sont représentés dans la figure 17.

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

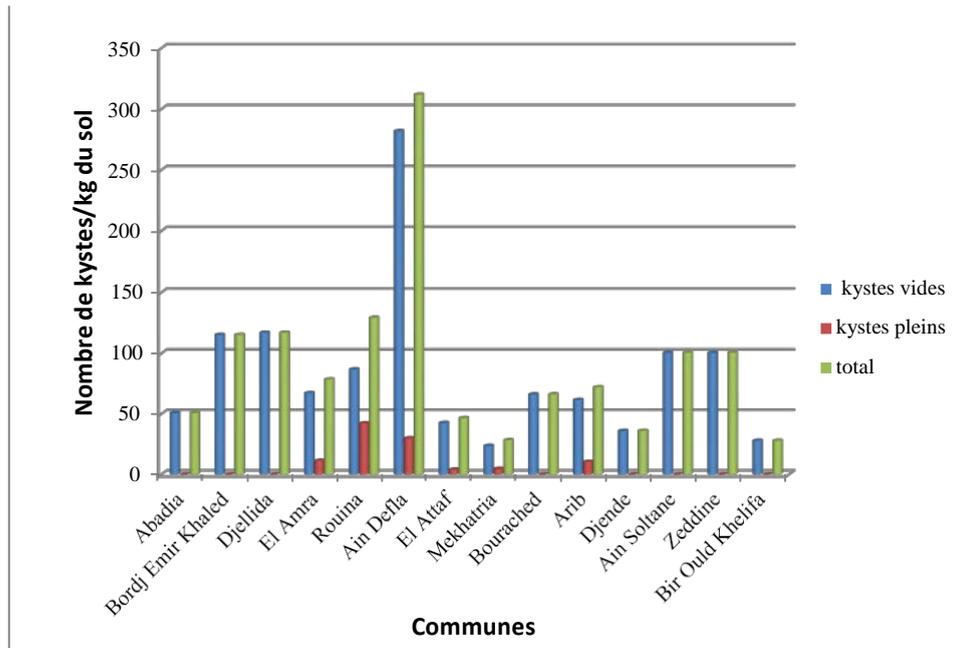


Figure 17: Nombres moyens des kystes (vides, pleins et totaux) de *Globodera* spp. en fonction des communes prospectées.

Des nombres importants de kystes sont récoltés lors de nos prospections. Cependant, les kystes vides sont les plus abondants dans l'ensemble des communes. Le nombre total moyen de kystes le plus élevé est observé à Ain Defla (312 kystes/kg du sol) et le nombre le plus faible est enregistré à Bir Oud Khelifa (27,91kystes/kg du sol). Les nombres moyens de kystes vides diffèrent d'une parcelle à une autre, mais la densité moyenne la plus élevée est notée dans la commune d'Ain Defla avec 282 kystes vides/kg du sol et la plus faible est enregistrée dans la commune de Mekhatria (23,67/kg du sol). Les kystes pleins sont détectés dans six communes (El Amra, Rouina, Ain Defla, Mekhatria, Arib et El Attaf). La densité moyenne des kystes pleins varie d'une commune à une autre. Le nombre moyen de kystes pleins le plus élevé est enregistré à Rouina (42,33 kystes/kg du sol) suivie d'Ain Defa (30 kystes/kg du sol), d'El Amra (11,33 kystes/kg du sol) et d'Arib (10,5 kystes/kg du sol). Des densités moyennes similaires de kystes pleins sont dénombrées dans les communes de Mekhatria et d'El Attaf (4,67 kystes/kg du sol et 4 kystes/Kg du sol respectivement).

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes Globodera de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

III.3.2.1.2. Comparaison de la densité des kystes entre les parcelles

Les résultats relatifs à la densité des kystes dans les différentes parcelles des communes étudiées sont présentés dans l'annexe 2.

Dans les communes où l'infestation est signalée (El Amra, Rouina, Ain Defla, Mekhatria, Arib et El Attaf), la densité des kystes pleins varie d'une parcelle à une autre :

Dans la commune de Rouina, cette densité est très importante dans la parcelle P4 où 132 kystes pleins sont collectés à partir d'un kilogramme du sol. Elle est relativement moins importante dans les parcelles P5, P6 et P1 (avec des densités de 74 kystes pleins/kg du sol, 28 kystes pleins/kg du sol et 18 kystes pleins/kg du sol respectivement), Une faible densité est enregistrée dans la parcelle P3 (2 kystes pleins/kg du sol) et aucun kyste n'est collecté dans la parcelle P2.

A Ain Defla, la densité de kystes pleins la plus élevée est enregistrée dans la parcelle P4 (80 kystes pleins/kg du sol), suivie de celle des parcelles P1 (66 kystes pleins/kg du sol) et P6 (28 kystes pleins/kg du sol). Seulement 6 kystes pleins/kg du sol sont collectés dans la parcelle P3. Cependant, la densité est nulle dans la parcelle P2.

A El Amra, les densités de kystes pleins sont moins importantes par rapport à celles de Rouina et d'Ain Defla. Le nombre de kystes pleins le plus élevé est enregistré dans la parcelle P2 où on a dénombré 52 kystes pleins/kg du sol. Dans les trois autres parcelles infestées, l'infestation paraît moins importante puisque seulement 6 kystes pleins/kg du sol sont collectés de P5 et P6 et 4 kystes pleins/kg du sol sont collectés de P3. Dans les parcelles P1 et P4, aucun kyste plein n'est collecté.

A Mekhatria, la parcelle la plus infestée est P5 avec 26 kystes pleins/kg du sol. Seulement 2 kystes pleins/kg du sol sont prélevés de la parcelle P2. Dans toutes les autres parcelles nous n'avons dénombré aucun kyste plein.

A Arib, Une seule parcelle s'est avérée infestée avec un nombre important de kystes pleins (63 kystes pleins/kg du sol). Toutes les autres parcelles ne contenaient que des kystes vides.

Dans la commune d'El Attaf, deux parmi les trois parcelles prospectées, étaient infestées à savoir P1 et P2 avec une densité de 8 kystes pleins/kg du sol et 4 kystes pleins/kg du sol respectivement. Dans la troisième parcelle seulement des kystes vides sont dénombrés.

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

Dans toutes les autres parcelles prospectées (à Bordj Emir Khaled, Bir Ould Khelifa, Bourached, Djendel, Zeddine, Ain Soltane, Djellida et Abadia), tous les kystes collectés étaient vides et leur nombre varie d'une parcelle à une autre au sein de la même commune.

En considérant toutes les parcelles, le nombre de kystes vides le plus élevé est observé dans la parcelle P4 d'Ain Defla qui est de 680 kystes vides/ kg du sol. Dans les parcelles P3 de Bourached et P2 d'Arib aucun kyste (vide ou plein) n'a été mis en évidence.

III.3.2.2. Degré d'infestation par *Globodera*

Le degré d'infestation est calculé selon le nombre d'œufs ou de larves dans un gramme de sol (Mugniery, 1975 ; Mugniery, 1982). Pour cela, nous avons écrasé tous les kystes pleins récoltés dans les différents échantillons et dénombré les œufs et les juvéniles qu'ils contiennent puis nous avons calculé les degrés d'infestation. Les résultats obtenus sont reportés en annexe 2.

La comparaison entre les différentes parcelles étudiées a révélé que le nombre d'œufs+juvéniles J2/ kg du sol le plus élevé est obtenu dans la parcelle P4 de Rouina avec 18598 œufs+juvéniles J2/ kg du sol suivie de la parcelle P5 de la même commune (16932 œufs+J2/ kg du sol), P1 d'Arib (12654 œufs+juvéniles J2/ kg du sol), les parcelles P4 et P1 d'Ain Defla (12010 œufs+J2/ kg du sol et 10274 œufs+ J2/ kg du sol respectivement). En prenant en considération que les régions infestées, les nombres d'œufs + juvéniles les plus faibles sont observés dans les parcelles P2 de Mekhatria avec 110 œufs+ J2/ kg du sol et dans la parcelle P3 d'Ain Defla (140 œufs+ J2/ kg du sol).

Le calcul des degrés d'infestation dans les différentes parcelles a fait ressortir que dans 5 des 18 parcelles infestées soit 27,78%, le seuil de nuisibilité (estimé à 10 larves/g par Mugniery, 1975) a été atteint ou voir même dépassé alors que dans les treize autres parcelles, soit 72,22%, ce seuil n'est pas atteint. Les parcelles P4 et P5 de Rouina sont les plus infestées (avec des degrés d'infestation de 18,6 œufs+L2/g du sol et 16,93 œufs+L2/g du sol respectivement) suivies de la parcelle P1 d'Arib avec un degré d'infestation de 12,65 œufs+L2/g du sol et celles d'Ain Defla P4 et P1 (12,01 œufs+L2/ g du sol et 10,27 œufs+ L2/ g du sol respectivement). Dans la région d'El Amra, le degré d'infestation varie de 0 à 3,35 œufs+L2 /g du sol. Dans la région de Mekhatria seulement deux parcelles sur six étaient infestées et dans les deux parcelles, le seuil de nuisibilité n'est pas atteint, il est très faible dans P1 (0,11 œufs+L2/ g)

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

comparativement à P5 (2,28 œufs+L2/ g du sol). Enfin à El Attaf, les degrés d'infestation sont très faibles (0,9 et 0,67 œufs+L2/ g du sol pour P1 et P2 respectivement).

Le calcul des degrés d'infestation moyens pour chaque commune (Figure 18) a révélé que Rouina est la commune la plus infestée avec une moyenne de 6,35 œufs+L2/g du sol suivie d'Ain Defla avec 4,33 œufs+L2/g du sol et d'Arib 2,11 œufs+L2/ g du sol. Dans les communes d'El Amra, de Mekhatria et d'El Attaf, les degrés d'infestation moyens n'ont pas atteint 1 larve/ g du sol. Toutes les autres communes sont indemnes.

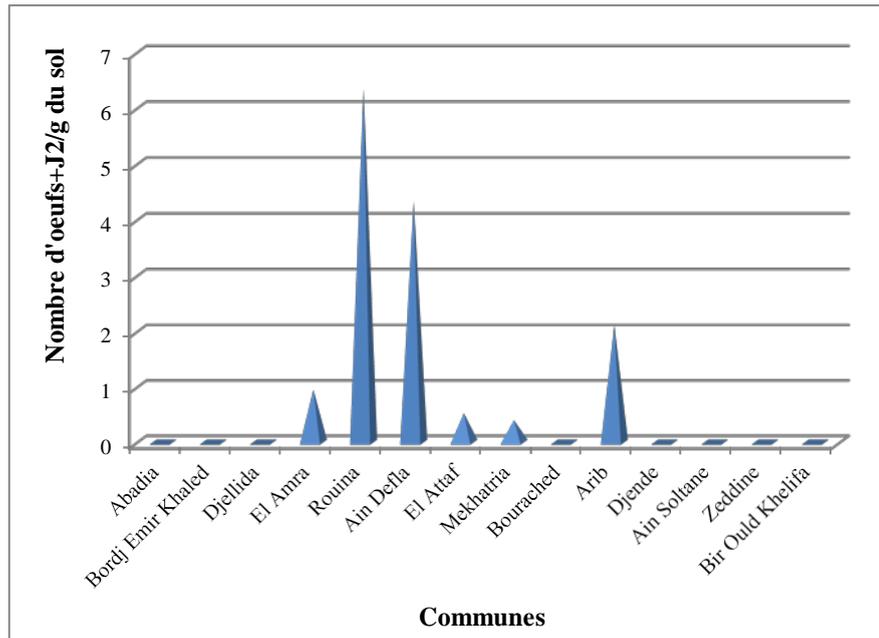


Figure 18 : Moyennes des degrés d'infestation des *Globodera* en fonction des communes prospectées.

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

- **Analyse de la variance**

L'analyse de la variance sur les différentes variables considérées dans les sites étudiés est résumée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des régions prospectées sur les variables étudiées.

Variables	Analyse de la Variance (Feuille de données 2) Effets significatifs marqués à $p < ,05000$							
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	p
Kystes vides	297012,7	13	22847,13	550401,3	67	8214,945	2,781166	0,003194
Kystes pleins	13244,7	13	1018,82	25345,5	67	378,291	2,693220	0,004181
Nombre total de kystes	364840,7	13	28064,67	634953,5	67	9476,918	2,961371	0,001840
% kystes vides	7616,2	13	585,86	19305,8	67	288,147	2,033201	0,030885
% kystes pleins	7673,7	13	590,29	19261,7	67	287,488	2,053254	0,029100
Degré d'infestation	296,4	13	22,80	688,9	67	10,283	2,217000	0,017822

Des différences hautement significatives entre les différentes régions sont obtenues pour les variables "nombre de kystes pleins" "nombre de kystes vides" et "nombre total des kystes" ($P= 0,003194, 0,004181$ et $0,001840$ respectivement, les probabilités sont $p < 0,005$). Pour les variables % kystes vides, % kystes pleins et degrés de l'infestation, la probabilité est significative avec des probabilités respectives de $0,030885, 0,029100$ et $0,017822$ ($p < 0,05$) (Tableau 5).

- **Analyse en composantes principales (ACP)**

Trois groupes distincts se sont libérés de l'analyse en composantes principales ACP en se basant sur les variables liées à l'infestation par les nématodes à kystes *Globodera* (Nombre de kystes pleins récoltés dans les différents échantillons et nombre d'œufs+L2/g du sol). Le premier est formé par les communes de Rouina, Ain Defla où on a dénombré un nombre moyen important de kystes de *Globodera* pleins et des degrés d'infestation importants. Le second comporte les autres communes El Amra, Mekhatria et El Attaf où on a collecté moins de kystes pleins et les degrés d'infestation sont moins importants. Quant au troisième groupe, il est formé par la commune d'Arib où le degré d'infestation était important dans la P1 alors que les autres parcelles étaient indemnes (Figure 19).

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

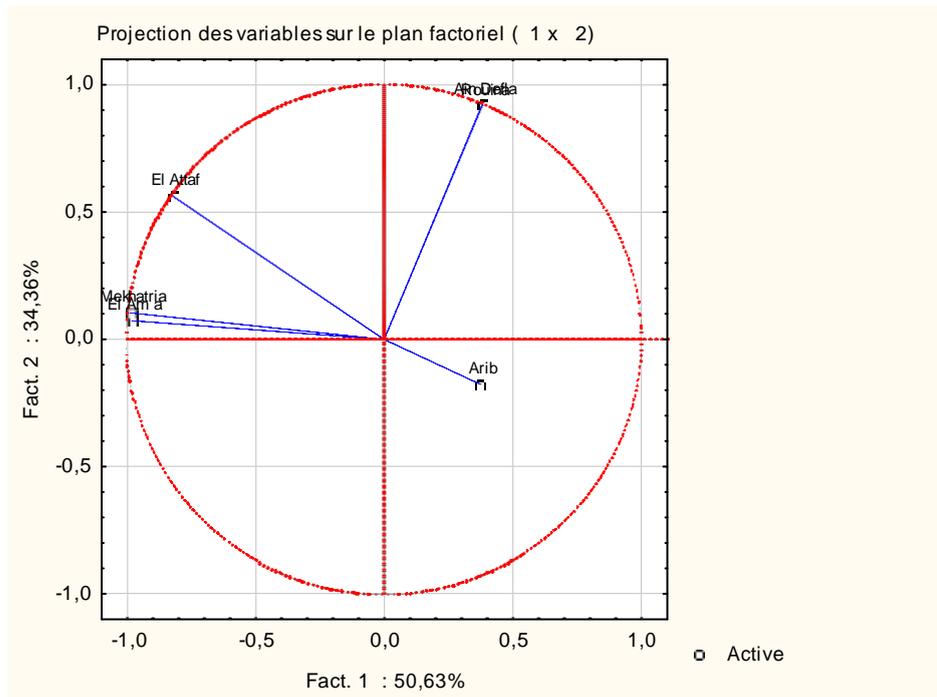


Figure 19 : Répartition des communes sur le plant factoriel (1x2) en relation avec les variables liées à l'infestation.

III.3.3. Cartographie de la répartition des nématodes à kystes *Globodera*

Sur la base des résultats des prospections effectuées dans différentes régions et des analyses nématologiques réalisées sur les échantillons collectés, il apparaît que l'infestation est cantonnée dans quelques communes à savoir Rouina, El Amra, Ain Defla, Mekhatria, Arib et El Attaf. Cependant, ces résultats n'excluraient pas une éventuelle présence de ces parasites dans les autres communes où le parasite est détecté sous forme de kystes vides et où d'autres enquêtes sont impérativement nécessaires. Ainsi, nous pourrions établir une cartographie préliminaire de ces nématodes (Figure 21). Cette dernière doit être complétée.

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

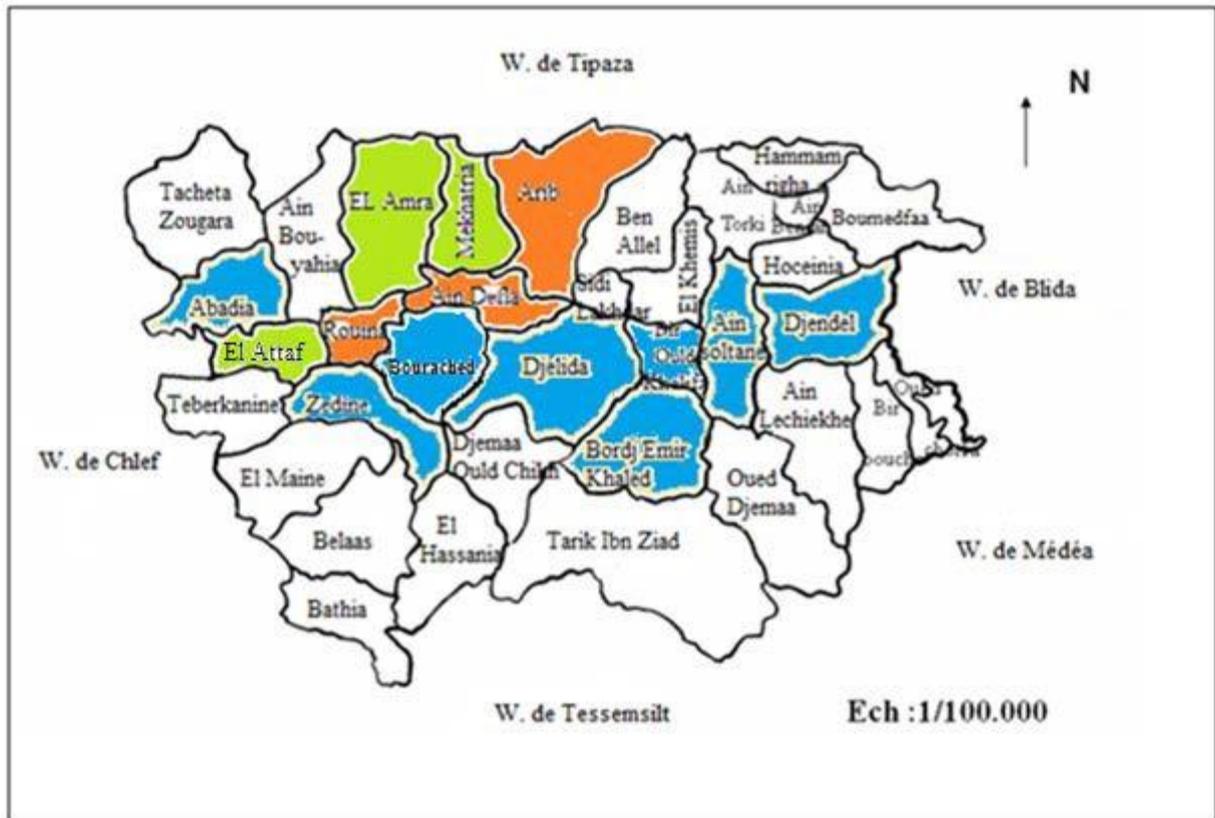


Figure 20 : Distribution géographique des nématodes à kystes de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla.

-  Régions fortement infestées (des parcelles dépassant le seuil de nuisibilité sont détectées).
-  Régions faiblement à moyennement infestées (le seuil de nuisibilité n'est pas atteint dans toute les parcelles).
-  Régions à risque (le parasite est détecté sous forme de kystes vides).

III.4. Discussion et conclusion

En Algérie, après la première détection des NKPTs en Mars 1953 par Frezal et leur signalisation par Scoto La Massesse dans plusieurs communes du littoral algérois en 1961, les Services de Protection de Végétaux ont signalé ces parasites dans plusieurs wilayas du pays dont les plus importantes sont Ain Defla, Tipaza, Chlef, Mascara et Sétif (I.N.P.V., 2009). Cependant, aucune publication n'est disponible sur ces parasites particulièrement sur leur distribution géographique, malgré le regain d'intérêt par les chercheurs. En effet, un nombre assez important de travaux sont conduits dans le cadre de la préparation des mémoires de fin d'études d'Ingénieurs Agronomes de Masters et des thèses de Magister s'intéressant à ces parasites. Cependant, le

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

nombre d'échantillons analysés reste limité et ces travaux doivent être complétés par des échantillonnages intensifs dans les différentes zones de production de pomme de terre.

Les travaux réalisés ont mis en évidence la présence de ces nématodes dans quelques régions productrices de la pomme de terre telles que Tipaza (Belhadj Ben Yahia, 2007), Chlef et Boumerdes (Kacem, 1992), Bouira (Merah, 1998). A Ain Defla, la présence de *Globodera* spp. est mise en évidence par Kacem (1992), Merah (1998); Belhadj Ben Yahia (2007); Mokhtari (2007); Bougar (2010); Djebroune (2011; 2013) et Baloul (2012).

Pour contribuer à l'étude de la distribution géographique de ces parasites en Algérie, nous avons conduit une enquête dans l'une des wilayas les plus productrices de la pomme de terre en Algérie durant la campagne agricoles (2012-2013) (pomme de terre d'arrière saison).

Les résultats obtenus ont révélé que l'infestation est cantonnée dans quelques régions puisque le parasite a été détecté sous forme de kystes viables seulement dans six communes des quatorze étudiées à savoir Rouina, El Amra, Ain Defla, Mekhatria, Arib et El Attaf. Djebroun (2013) a analysé 48 échantillons prélevés dans 16 communes d'Ain Defla (à raison de trois échantillons par commune). Cette étude a révélé que ces nématodes sont présents (sous forme de kystes viables) dans plusieurs communes (15 des 16 étudiées) et à plusieurs orientations et que la fréquence est parfois de 100%. Malgré que cette étude soit conduite parallèlement à la notre, les résultats obtenus sont divergents. Dans notre étude, nous avons tenté de multiplier le nombre d'échantillons analysés par commune, En effet, 81 échantillons prélevés de 14 communes étaient analysés, soit six parcelles par commune (sauf à El Attaf). Cependant, nous n'avons pas signalé ces parasites sous forme de kystes viables dans les communes situées à l'orientation Est (Djendel, Ain Soltane) ni au centre de la wilaya (Djelida, Bordj Emir Khaled) puisque tous les kystes récoltés dans ces régions étaient vides. De même, la fréquence de l'infestation n'a atteint 100% dans aucune commune puisque la fréquence la plus élevée est 83,33% (signalée à Rouina).

Le dénombrement des œufs et des juvéniles de deuxième stade contenus dans les kystes pleins collectés dans les parcelles infestées nous a permis d'évaluer les degrés d'infestation dans les différentes parcelles. Les résultats obtenus ont montré que l'état d'infestation diffère entre les communes prospectées voir même entre les parcelles au sein de la même commune.

En tenant compte de toutes les parcelles étudiées, le degré d'infestation varie de 0 à 18,6 œufs+L2/ g du sol. En admettant que le seuil de nuisibilité est fixé à 10 L2 /g du sol (Mugniery, 1975), ce seuil a été atteint voir même dépassé dans 5 parcelles à savoir P4 et P5 de Rouina, P1 et

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

P4 d' Ain Defla et P1d'Arib. Le degré d'infestation le plus élevé est noté à P4 de Rouina 18,6œufs+L2/g du sol, (il dépasse largement le seuil de nuisibilité). Dans les treize autres parcelles déclarées infestées, ce seuil n'est pas atteint. Dans 63 parcelles sur les 81 étudiées, aucun œuf ou larve ne sont trouvés.

Le degré d'infestation moyen calculé pour chaque commune a révélé que Rouina est la comune la plus infestée avec une moyenne de 6,35 œufs+L2/g du sol suivie d'Ain Defla avec 4,33 œufs+L2/g du sol et Arib 2,11 œufs+L2/ g du sol. Dans les communes d'El Amra, Mekhatria et El Attaf, l'infestation est moins importante (le degré d'infestation moyen n'a pas atteint 1larve/ g du sol). Toutes les autres regions sont indemnes de ces parasites.

Dans l'étude de Djebroune (2013), la fréquence de l'infestation est importante (77, 08% des parcelles prospectées sont infestées), elle est nettement plus importante que dans le cas de notre étude (22,22%). Cependant, les degrés d'infestation calculés (0-10 œufs+L2/ g du sol) par ce même auteur étaient moins importants par rapports à ceux obtenus dans notre étude (0-18,6 œufs+L2/g du sol) . De même, le seuil de nuisibilité a été atteint dans une seule parcelle (Arib) contre cinq parcelles dans notre étude (deux à Rouina, deux à Ain Defla et 1 à Arib) .

En comparant nos résultat et ceux de Djebroune, relatifs à l'importance l'infestation dans la wilaya d'Ain Defla avec ceux de Mazouz (2011) qui a fait des prospections dans les principales regions productrices de la pomme de terre de la wilaya de Chlef, il s'avère que le degré d'infestation est plus important à Chlef qu'à Ain Defla puisque cet auteur a enregistré des degrés d'infestation élevés allant de 124 à 334 œufs/g du sol.

Nous avons remarqué que dans quelques parcelles un nombre important de kystes est collecté par kilogramme du sol mais le degré d'infestation estimé est faible, citant l'exemple de Rouina P6 où nous avons collecté 28 kystes pleins/ kg du sol mais le degré d'infestation calculé n'est que de 0,46 œufs+L2/g du sol alors que dans la parcelle P6 d'Ain Defa le nombre de kystes pleins collectés est le même mais le degré d'infestation calculé est plus important (3,57 œufs+L2/g du sol). Ceci est dû au fait que les populations collectées contenaient des nombres différents d'œufs+L2 par kyste. En effet, pour certaines populations, leurs kystes qui semblent nouvellement formés, contenaient des nombres importants d'œufs et de juvéniles alors que certaines populations présentent des kystes contenant peu d'œufs et de juvéniles. Elles semblent être des populations anciennes qui auraient éclos et vu l'éclosion échelonnée des kystes des espèces appartenant au genre *Globodera*, il reste quelques œufs et larves à l'intérieur des kystes.

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

L'analyse des échantillons prélevés dans huit communes (Djendel, Ain Soltane, Bir Ould Khlelifa, Djelida, Djendel, Bourached, Zeddine, Abadia) nous a permis de déceler la présence de ces parasites sous forme de kystes vides. Comme l'infestation des parcelles s'estime par la présence de kystes pleins nous avons considéré ces parcelles indemnes de ces parasites. Cependant, d'autres échantillonnages doivent être effectués dans ces mêmes parcelles à différentes périodes de l'année afin de confirmer ces résultats. En effet, ces kystes peuvent appartenir à des populations anciennes, donc ces kystes ont anciennement éclos ou peuvent être des femelles non fécondées voir même stériles et dans ce cas la situation n'est pas inquiétante. Cependant, une autre hypothèse est également vraisemblable, les kystes vides récoltés peuvent appartenir à de nouvelles populations et ils ont récemment éclos sous l'effet des exsudats radiculaires de la plante hôte et les conditions climatiques favorables à l'éclosion, donc, les larves libérées auraient attaqué la plante hôte. Cependant, ces larves n'auraient pas encore accompli leur cycle au moment de notre échantillonnages mais elles pourraient former de nouveaux kystes ultérieurement.

La forte infestation signalée dans quelques parcelles situées dans les régions de Rouina, Ain Defla et Arib serait liée aux conditions favorables pour le développement de ces parasites tel que la nature de sol, les différentes pratiques culturales et aux conditions climatiques qui prévalent dans les lieux prospectés.

La texture du sol n'est pas étudiée dans les parcelles prospectées mais des observations et des tests basés sur le toucher nous ont donné une idée générale sur les proportions des différents éléments (sable, limon et argile) et sur la structure dans les différentes parcelles. Nous avons remarqué que les sols des parcelles fortement infestées situées à Ain Defla et Rouina sont des sols légers, rouges avec fortes proportions de sable. De même, ces parasites sont détectés dans des parcelles qui semblaient avoir une texture limono-argileuse (Mekhatria, Rouina et Arib). Schneider et Mugniery (1971) rapportent que les sols légers, aérés et poreux sont plus favorables aux développements de ces nématodes que les sols lourds.

Le types de rotation (binaire : pomme de terre-céréales) ou parfois la monoculture sur deux ans ou plus), appliqués dans la majorité de ces parcelles, serait le facteur le plus important qui a favorisé le développement de ces nématodes. Tiilikkala (1991) rapporte que les monocultures augmentent la densité des populations de ces nématodes qui peut passer de 0,1 à 256 larves/g de sol en 3 ans. De longues rotations sont plutôt préconisées pour diminuer et maîtriser les populations des nématodes à kystes dont les NKPTs (Hidalgo et Kerry, 2008 ;

Chapitre III : Aperçu sur la distribution géographique des nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla

Lopez-Lema et *al.*, 2013). Bélaïr (2005) explique que le retour en pomme de terre et autres plantes hôtes dans les champs infestés peut se faire seulement après 5 à 10 ans.

Dans la majorité des parcelles prospectées, la variété cultivée était Spunta, La sensibilité de cette variété (Greco et *al.*, 2007 ; Hlaoua et *al.*, 2010 et Hajihassani et *al.*, 2013) aurait contribué à augmenter l'infestation dans certaines parcelles. Le type d'irrigation par aspersion appliqué dans toutes les parcelles prospectées favorise aussi le développement des nématodes (Reddy 1983 in Belhaj Ben Yahya, 2007 ; Hlaoua et *al.*, 2010).

D'une manière générale, nous avons remarqué que le mode de conduite de la culture de point de vue variétal, type d'irrigation et rotation est similaire avec quelques exceptions (annexe1) dans toutes les régions prospectées donc, c'est l'interaction entre ce facteur et autres facteurs surtout les facteurs édaphiques (texture, structure, composition chimique, matière organique) climat (températures, humidité du sol) et aussi l'inoculum initial de ce parasite qui pourrait être à l'origine des différences de l'état d'infestation entre les différentes communes prospectées.

Des prospections régulières et des échantillonnages intensifs doivent être conduits dans la wilaya d'Ain Defla et dans les autres régions productrices de la pomme de terre en Algérie pour compléter l'information sur la distribution de ces nématodes et établir une cartographie de leur répartition à l'échelle nationale et établir ainsi une stratégie de contrôle intégrée.

Chapitre IV

**Distribution verticale des
nématodes à kystes de la pomme
de terre *Globodera* spp. dans le sol**

IV.1. Objectifs

- Investigation sur la distribution verticale des nématodes à kystes du genre *Globodera* dans le profil du sol.
- Mettre en évidence les facteurs qui peuvent influencer cette distribution tels que la présence et le stade de développement de la plante hôte.
- Contribuer à l'étude des facteurs édaphiques influençant cette distribution en s'intéressant à l'effet du pH et du taux de calcaire total (% CaCO₃) du sol.

IV.2. Matériel et méthodes

IV.2.1. Analyse nématologique

IV.2.1.1. Echantillonnage

L'échantillonnage est effectué au niveau de trois parcelles de 500 m² (25 x 20 m) situées à El Amra, Bourached et Mekhatria. Dans chaque parcelle, des prélèvements du sol sont réalisés à l'aide d'une tarière au niveau de trois couches du sol 0 à 15 cm, 15 à 30 cm et 30 à 45 cm: dans chaque couche on prélève 20 échantillons élémentaires pesant 100 g chacun selon les deux diagonales. Le prélèvement des échantillons est effectué au niveau de la rhizosphère afin de mettre en évidence l'effet de la plante hôte sur la distribution verticale de ces parasites.

Tous les échantillons élémentaires appartenant à la même profondeur sont réunis pour constituer un échantillon global qui est bien brassé et soigneusement homogénéisé. Ainsi, on obtient trois échantillons globaux, pesant 2 kg chacun par parcelle (un dans chaque couche du sol) (Figure 21).

Les prélèvements sont effectués au cours de deux stades phénologiques de la culture de pomme de terre : le premier échantillonnage est réalisé en Mars 2013 au stade levée et le deuxième en mois de Mai 2013 au moment où la plante est en phase de maturation (proche de la récolte).

IV.2.1.2. Extraction et comptage des kystes

De chaque échantillon global, on prélève 5 sous échantillons (pesant 300 g) qui vont constituer des répétitions pour l'analyse nématologique : Ainsi, on aura 5 répétitions pour chaque couche du sol dans les trois parcelles, pour étudier la distribution verticale de ces parasites dans le sol. Après l'extraction des kystes avec l'appareil de FENWICK (tel qu'il a été décrit précédemment dans le chapitre III), on procède à leur comptage.

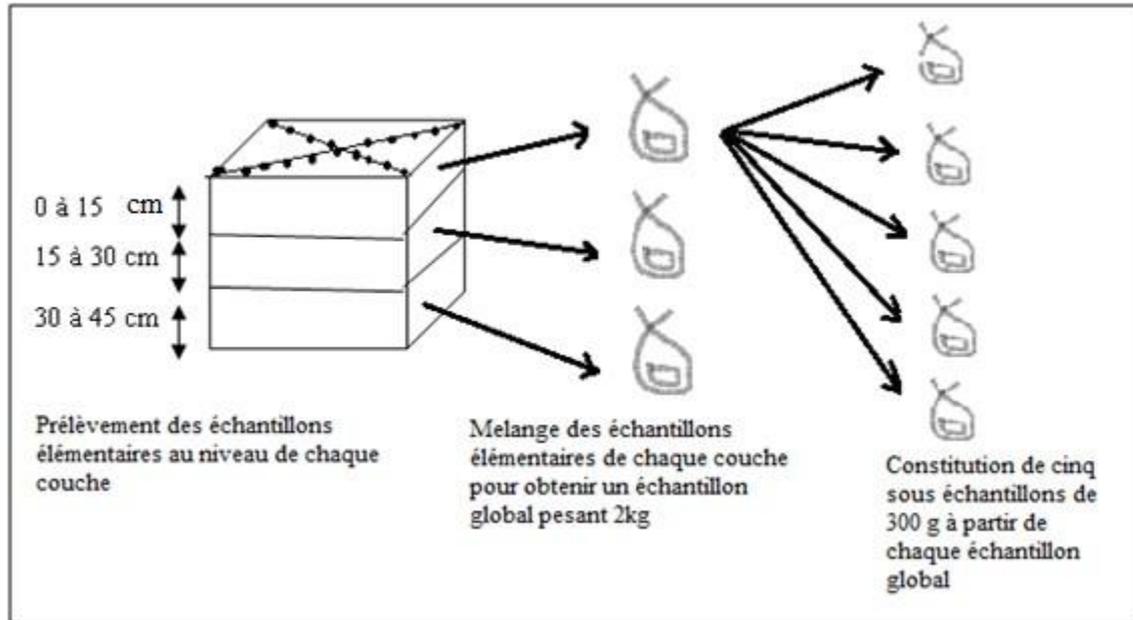


Figure 21 : Protocole d'échantillonnage utilisé pour l'étude de la distribution verticale des nématodes *Globodera* dans le sol au niveau de chaque site.

IV.2.2. Effet de deux facteurs édaphiques sur la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre

IV.2.2.1. Etude de pH du sol

A partir des différents échantillons globaux, on prend une quantité du sol qui va être tamisée avec un tamis de 2 mm et on constitue des sous échantillons pesant 20 g qui vont être utilisés pour la détermination du pH (5 répétitions au niveau de chaque couche).

Pour évaluer le pH de chaque échantillon, on met le sol (20g) dans le flacon d'agitation et on ajoute 50 ml d'eau distillée. On agite pendant 1heure puis on laisse la solution reposer. Après Etalonnage de pH-mètre avec les solutions d'étalonnage à pH7 et pH9, on agite la suspension à la main et on mesure le pH en plongeant l'électrode dans la suspension. Enfin, on lit la valeur quand la lecture s'est stabilisée (cela demande 30 à 60 secondes).

Les valeurs du pH obtenues sont comparées avec les normes proposées par Baize (2000) présentées dans le tableau 6.

Tableau 6: Classification du sol selon le pH.

pH	<3,5	3,5- 4,2	4,2-5	5-6,5	6,5-7,5	7,5-8,7	>8,7
Classes	Hyper acide	Très acide	Acide	Faiblement acide	Neutre	Basique	Très basique

Baize (2000)

IV.2.2.2. Dosage de calcaire total du sol

Le calcaire total est défini comme étant la totalité du calcaire dosé par destruction à l'HCl. Le dosage est réalisé par la méthode du calcimètre de Bernard (Duchaufour, 1977). Son principe repose sur la décomposition du carbonate de calcium par l'acide chlorhydrique et la mesure du volume de CO₂ dégagé.

- Remplir l'ampoule d'eau salée (NaCl+eau) de manière à ce que le niveau de la Burette soit au niveau zéro (pour cela on fait correspondre les deux niveaux d'eau dans la Burette et dans l'ampoule).
- Peser 0,3 gramme de CaCO₃ dans un erlenmeyer qui correspond au bouchon du Calcimètre.
- Remplir le petit tube à ¾ de HCl (2N) dilué que l'on place dans l'erlenmeyer.
- Boucher soigneusement l'erlenmeyer avec le bouchon de Calcimètre.
- Décrocher l'ampoule, faire correspondre les deux niveaux (Burette et celle de l'ampoule), faire la lecture du volume descend au niveau de la Burette, cette lecture correspond au volume V₀.
- Renverser l'acide (HCl) sur le CaCO₃ sans bouger l'erlenmeyer.
- Attendre la stabilisation de niveau de l'eau dans la Burette.
- Décrocher l'ampoule et faire correspondre les deux niveaux, faire la lecture sur le volume de l'eau descend sur la burette qui correspond au V₁.

$$V = V_1 - V_0$$

- Renouveler l'opération, c'est-à-dire au lieu de prendre 0,3 gramme de CaCO₃, on prend 1gramme de sol, soit V le volume de CO₂ dégagé par l'échantillon.

$$\%CaCO_3 = v' \times 0.3 \times 100 / V \times P$$

Chapitre IV: Distribution verticale des nématodes à kystes *Globodera* spp. de la pomme de terre dans le sol.

V (ml) : volume du Co₂ dégagé par 0,3g de calcaire pur.

V' (ml) : volume du Co₂ dégagé par l'échantillon de terre.

P(g) : poids de l'échantillon de terre.

Les normes utilisées pour l'interprétation de nos résultats sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7: Normes d'interprétation du calcaire total

Teneur en calcaire total (%)	Type de sol
<1	Sol non calcaire
1-5	Sol peu calcaire
5-25	Sol modérément calcaire
25-50	Sol fortement calcaire
50-80	Sol très fortement calcaire
>80	Sol excessivement calcaire

(Baize, 2000).

IV.3. Résultats

Les résultats relatifs au nombre de kystes obtenus dans les trois couches du sol dans les sites étudiés durant les deux stades de développement de la plante de la pomme de terre sont présentés dans le tableau7. L'analyse de ces résultats montre des différences entre les sites étudiés durant les deux stades de développement de la pomme de terre.

Tableau 7: Nombre de kystes dans le profil du sol durant le stade levée et stade maturation de la pomme de terre

Stations	Nombre de kystes au stade levée			Nombre de kystes au stade maturation		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
El Amra	41,2±13,48	34,8±7,49	46±13,87	35,8±4,66	21,4±10,29	20,8±4,32
Bourached	3,6±3,7	8,2±3,56	6,2±2,17	7,6±1,82	11,4±2,30	8±1,58
Mekhatria	24,4±6,35	29,4±14,79	17,8±2,86	19,2±6,94	9,4±1,52	22,4±4,77

IV.3.1. Distribution des kystes au stade levée

Durant le stade levée, des variations sont notées entre les nombres de kystes collectés dans les différents sites. De même, la distribution des kystes dans le profil du sol est différente d'un site à un autre. Des variations sont aussi notées entre les nombres de kystes collectés dans

les différentes profondeurs du même site (Figure 22). Cependant, l'analyse des variances a révélé que dans les trois sites étudiés, le nombre de kystes collectés n'était pas significativement différent entre les trois profondeurs (du même site) ($p=0.88$), par contre, le nombre de kystes collectés des trois sites est très significativement différent ($P<0.0005$). Les différences ne sont pas significatives pour l'interaction des facteurs site et profondeur (Tableau 8).

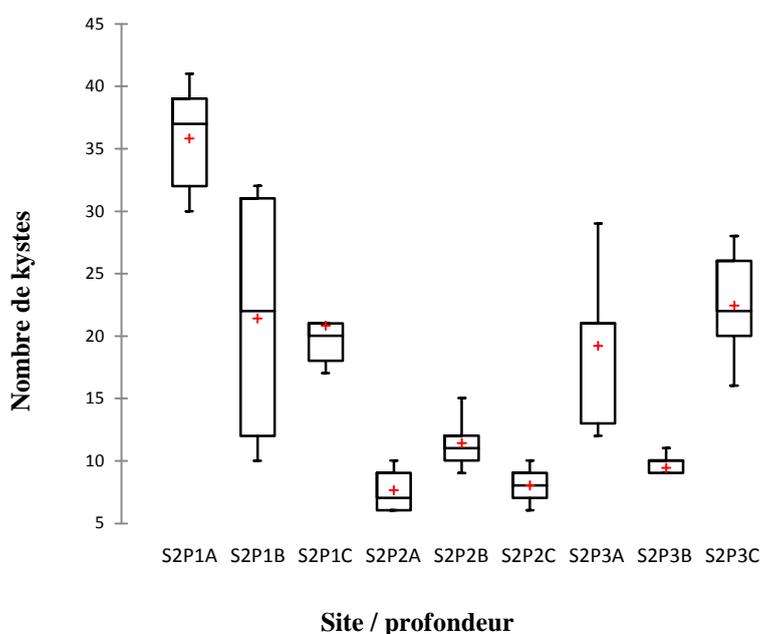


Figure 22: Variabilité de nombres de kystes entre les trois profondeurs dans les sites étudiés durant le stade levée.

S1: stage 1 (Stade maturation), P1: site 1 (El Amra), P2: site 2 (Bourached), P3: site 3 (Mekhatria)

A: profondeur 0-15 cm, B: profondeur 15-30 cm, C: profondeur 30-45 cm.

Tableau 8: Analyse de la variance de nombre de kystes dans les sites étudiés entre les profondeurs durant le stade levée.

	Effect	SC	DDL	F	P
ord. origine	23679,19	1	23679,19	286,2687	0,000000
site	8870,67	2	4435,33	53,6208	0,000000
Profondeur	21,08	2	10,54	0,1274	0,880695
site*profondeur	840,68	4	210,17	2,5408	0,054151
Erreur	3391,38	41	82,72		

IV.3.2. Distribution des kystes au stade maturation

Durant le stade maturation, une variabilité de la distribution verticale des kystes a été notée dans les sites prospectés. Dans le premier site, le nombre de kystes collectés dans la couche superficielle du sol (0-15 centimètre) était le plus élevé en comparaison avec ceux

trouvés dans les profondeurs 15-30 cm et 30-45 cm. Dans le deuxième site, le nombre de kystes le plus élevé a été trouvé dans la profondeur du sol de 15-30 cm par rapport aux profondeurs 0-15 cm et 30-45 cm. Une distribution différente est notée dans le troisième site où le nombre le plus élevé de kystes de ces nématodes a été localisé dans la couche du sol la plus profonde 30-45cm. La différence était très significative en comparaison avec le nombre de kystes collectés dans les profondeurs du sol de 0-15 cm et 15 - 30 cm (Figure 23). Les résultats d'ANOVA; ont révélé des différences très hautement significatives pour le facteur site et hautement significatives pour le facteur profondeur (Tableau 9).

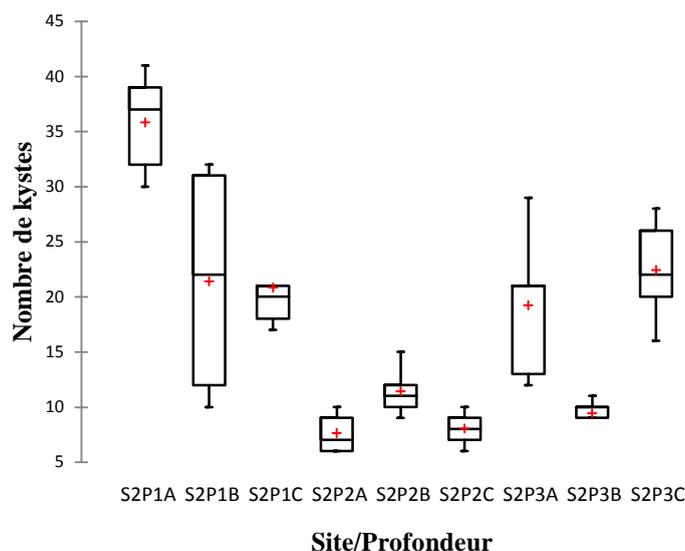


Figure 23: Variabilité de nombres de kystes entre les trois profondeurs dans les sites étudiés durant le stade maturation.

A: profondeur 0-15 cm, B: profondeur 15-30 cm, C: profondeur of 30-45 cm.

S2: stage 2 (maturation), P1: site 1 (El Amra), P2: site 2 (Bourached), P3: site 3 (Mekhatria)

Tableau 9: Analyse de la variance de nombre de kystes dans les différentes profondeurs du sol dans les sites durant le stade maturation.

	Effet	SC	DDL	F	P
ord. origine	13520,00	1	13520,00	527,6670	0,000000
site	2170,00	2	1085,00	42,3461	0,000000
profondeur	348,40	2	174,20	6,7988	0,003127
site*profondeur	875,20	4	218,80	8,5395	0,000059
Erreur	922,40	36	25,62		

IV.3.3. Comparaison entre le premier stade et le deuxième stade

La comparaison entre les nombres de kystes durant les deux stades de développement de la plante hôte, a révélé que pour le premier site (El Amra), le nombre de kystes a diminué durant le stade 2 par rapport au stade 1 dans les différentes profondeurs. Dans le deuxième site (Bourached), le nombre de kystes collectés a légèrement augmenté durant le deuxième stade par rapport au premier stade. Dans le troisième site (Mekhatria), le nombre de kystes a diminué dans les deux premières profondeurs mais a augmenté dans la troisième profondeur (Figure 24). L'analyse de la variance a révélé que l'interaction entre les facteurs stade et site a un effet très hautement significatif ($p= 0,000067$) sur le nombre de kystes des nématodes du genre *Globodera*. L'effet est significatif pour l'interaction des facteurs site et profondeur ($p= 0,048862$). Cependant, l'interaction entre les facteurs stade et profondeur n'a pas d'effet significatif sur le nombre de kystes de ces nématodes ($p=0,120850$). Quant à l'interaction des trois facteurs (stades, site et profondeur), elle est hautement significative (tableau 10).

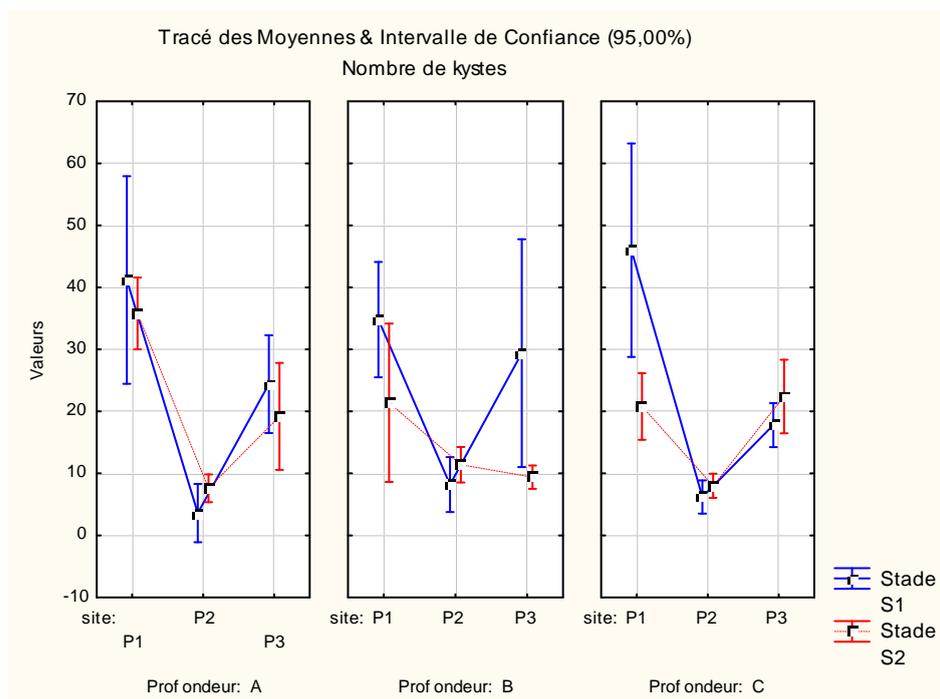


Figure 24: Nombre de kystes de *Globodera* spp. dans les trois sites et dans les différentes profondeurs aux cours des deux stades de développement.

A: profondeur 0-15 cm, B: profondeur 15-30 cm, C: profondeur of 30-45 cm.

S2: stage 2 (maturation), P1: site 1 (El Amra), P2: site 2 (Bourached), P3: site 3 (Mekhatria)

Tableau 10: Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des facteurs profondeur, site et stade de développement de la plante hôte sur le nombre de kystes de *Globodera*.

Effet	SC	DDL	MC	F	p
	37536,04	1	37536,04	703,8008	0,000000
Stade	858,71	1	858,71	16,1008	0,000145
Site	10010,42	2	5005,21	93,8477	0,000000
Profondeur	125,49	2	62,74	1,1765	0,314226
Stade*Site	1175,76	2	587,88	11,0227	0,000067
Stade*Profondeur	232,16	2	116,08	2,1765	0,120850
Site*Profondeur	536,44	4	134,11	2,5146	0,048862
Stade*Site*Profondeur	1036,98	4	259,24	4,8608	0,001584
Erreur	3840,00	72	53,33		

IV.3.4. Effet du pH et du taux de calcaire (% CaCo₃) sur la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre

V.3.4.1. Etude du pH

En se basant sur la classification de Baize (2000) des sols selon le pH (Tableau 6 : Matériel et méthodes) on remarque que le sol était neutre ($6,5 < \text{pH} < 7,5$) dans tous les sites et dans les différentes profondeurs durant le stade levée, cependant, il est basique ($7,5 < \text{pH} < 8,8$) durant le stade maturation. On remarque que les valeurs moyennes du pH diffèrent entre les profondeurs, les sites et le stade phénologique de la plante (Tableau 11). Cependant L'analyse des données relatives aux pH du sol dans les différentes profondeurs durant les deux stades de développement de la pomme de terre dans les trois sites a révélé des différences significatives pour le facteur stade de développement de la plante hôte ($p < 0,0005$). De même, des différences très hautement significatives sont enregistrées entre les valeurs de pH enregistrées dans les sites étudiées. Cependant, aucune différence significative n'est enregistrée pour les valeurs de pH obtenues dans les profondeurs du sol du même site ($p = 0,23$) (Figures 25, 26 et 27).

Tableau 11: valeurs de pH dans le profil du sol dans les sites étudiés

Site	Valeurs du pH durant le stade levée			Valeurs du pH durant le stade maturation		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
El Amra	6,83±0.18	6,9±0.31	6,59±0.19	8,3±0.03	8,4±0.03	8,35±0.02
Bourached	6,69±0.05	6,11±0.84	6,62±0.11	8,26±0.01	8,26±0.02	8,22±0.02
Mekhatria	6,59±0.24	6,99±0.44	6,61±0.4	8,44±0.04	8,38±0.02	8,37±0.06

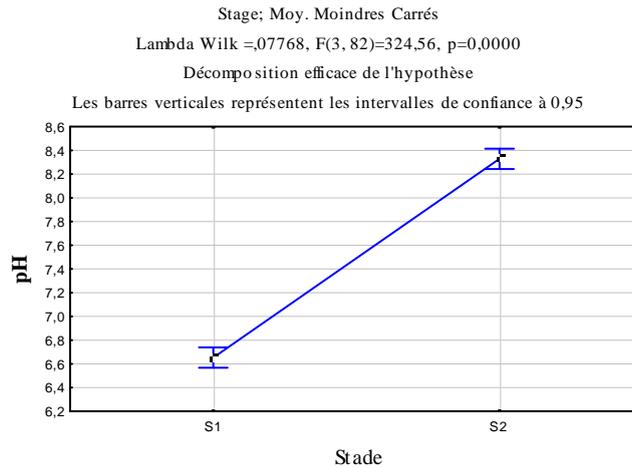


Figure 25: Variation du pH entre le stade levée (S1) et le stade maturation (S2).

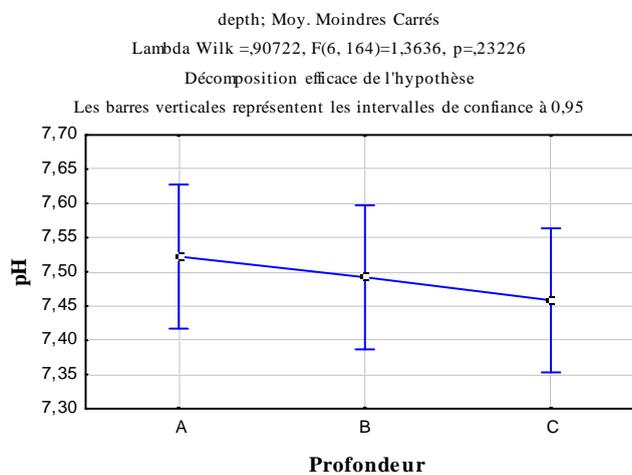


Figure 26: Variation du pH entre les trois profondeurs du sol.

A: depth of 0-15 cm, B: depth of 15-30 cm, C: depth of 30-45 cm

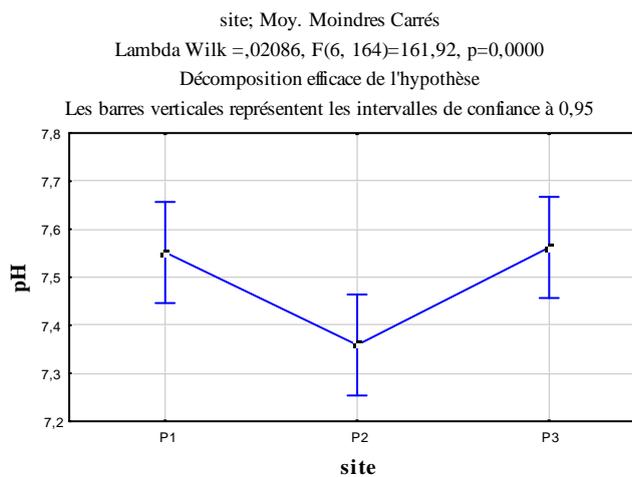


Figure 27: Variation du pH dans les sites étudiés.

P1: site 1 (El Amra), P2: site 2 (Bourached), P3: site 3 (Mekhatria)

IV.3.4.2. Etude de calcaire total (% CaCo3)

En se référant à classification de Baize (2000) des sols selon le %CaCO₃, nos résultats montrent que les sols sont modérément calcaires dans les sites d'El Amra et Bourached au cours des stades levée et maturation de la pomme de terre et ils sont peu calcaires dans le site de Mekhatria aux cours de ces deux stades de développement (Tableau 12). Afin d'estimer si les variations observées entre les profondeurs, les sites et les deux stades de la plante hôte pour la variable %CaCO₃, ont une signification statistique nous avons effectué une analyse de la variance qui a révélé des différences hautement significatives pour le facteur stade de développement ($p < 0.0005$). Les différences sont aussi, très hautement significatives pour le facteur site ($p < 0.0005$). De même, des différences significatives sont enregistrées pour les valeurs de %CaCo3 entre les différentes profondeurs ($p = 0,017$) (Figures 28, 29 et 30).

Tableau 12: Taux de calcaire (%CaCo3) dans le profil du sol dans les sites étudiés.

Station	(%CaCo3) durant le stade levée			(%CaCo3) durant le stade maturation		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
El Amra	9.99±0.4	9.8±0.4	9.52±0.21	8.4±0.22	8.4±0.19	9.86±0.13
Bourached	9.32±0.4	9.33±0.52	9.71±0.26	7.15±0.42	7.15±0.74	7.11±0.34
Mekhatria	4.05±0.26	3.77±0.74	5.09±0.39	3.47±0.32	3.9±0.18	3.94±0.32

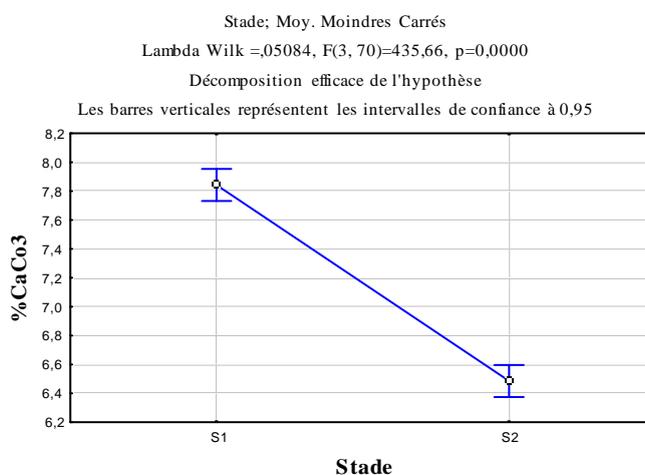


Figure 28: Variation de %CaCo3 entre le stade levée (S1) et le stade maturation (S2).

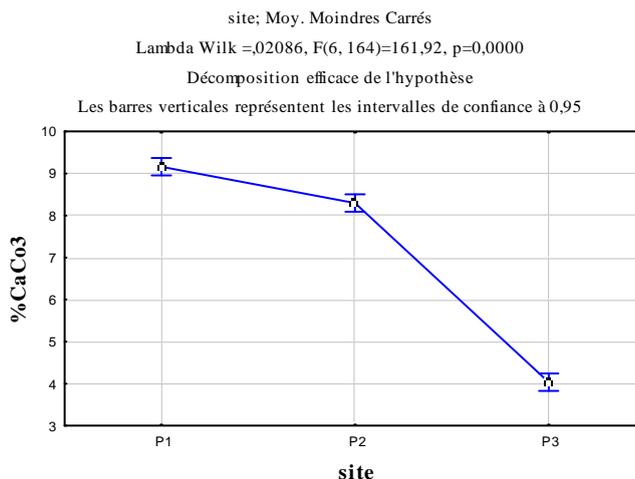


Figure 29: Variation de %CaCo3 entre les sites étudiés.

P1: site 1 (El Amra), P2: site 2 (Bourached), P3: site 3 (Mekhatria)

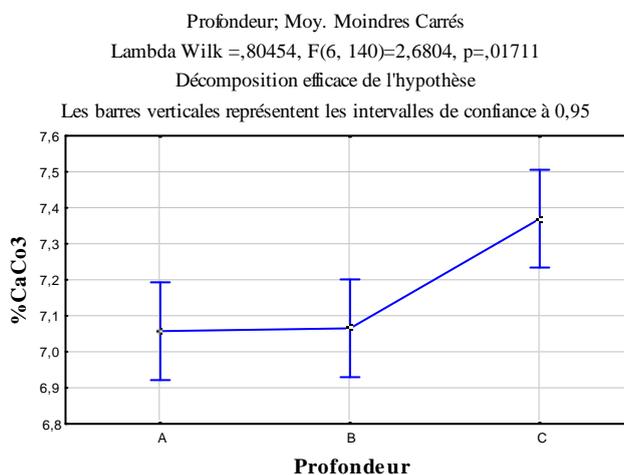


Figure 30: Variation de %CaCo3 dans les différentes profondeurs du sol.

A: depth of 0-15 cm, B: depth of 15-30 cm, C: depth of 30-45 cm

IV.3.4.3. Corrélation entre le nombre de kystes de *Globodera* dans le profil du sol avec le pH et le %CaCO3

Afin de mettre en évidence les corrélations existantes entre les facteurs profondeur, site et stade de développement de la plante hôte et les variables étudiées, à savoir, nombre de kystes de NKPT, pH et %CaCO3, nous avons établi une analyse en composantes principales. L'analyse de la distribution des facteurs et variables dans le cercle des corrélations (Figure 31) montre que le facteur profondeur n'est pas corrélé avec aucune des variables étudiées (nombre de kystes, pH et %CaCO3). Cependant, des corrélations négatives existent entre le nombre de kystes (NK) avec le stade phénologique de la plante hôte, le site étudié et le pH, par rapport à l'axe F2 qui

représente seulement 27,59% de l'information. Les corrélations sont fortes entre le pH et le stade phénologique de la plante hôte et entre ces deux facteurs et le site par rapport à l'axe F2.

D'une manière générale, notre étude n'a pas montré une relation directe entre la distribution verticale des nématodes à kystes *Globodera* avec le pH et le %CaCO₃.

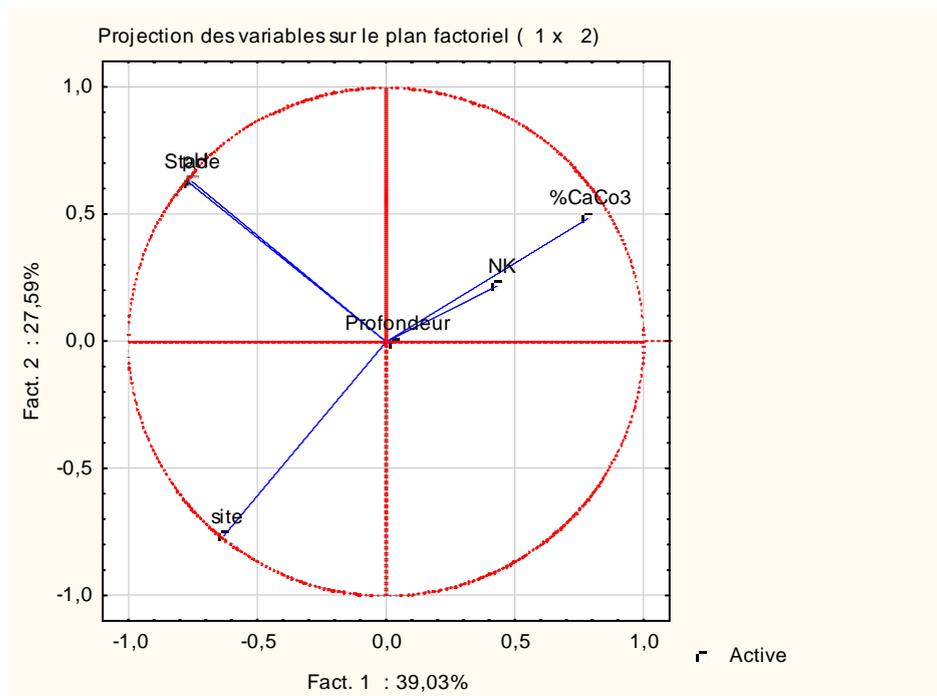


Figure 31: Analyse en Composante Principale de la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre et des variables considérées.

IV.4. Discussion et conclusion

Une bonne connaissance de la distribution verticale des nématodes phytoparasites y compris les nématodes à kystes de la pomme de terre dans un champ est très importante pour le développement d'une stratégie du contrôle. Une investigation a été conduite dans ce contexte dans trois sites d'Ain Defla où nous avons étudié la distribution de ces parasites dans le profil du sol en tenant en considération trois couches (0-15 cm, 15-30 et 30-45 cm). De même, nous avons voulu contribuer à l'étude des facteurs édaphiques influençant cette répartition en essayant de mettre en évidence l'influence du pH et du %CaCO₃.

L'analyse des résultats a révélé une variabilité de la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre dans le même site entre les deux stades de développement de la culture de pomme de terre.

Durant le stade levée, il y'a une homogénéité de la distribution dans les différentes profondeurs du sol dans le même site. Ceci pourrait être dû au labour qui précède la plantation et qui peut mélanger le sol des différentes profondeurs. Hou et *al.* (2010) rapportent que les nématodes montrent des réponses variables aux différentes techniques du labour. Been et Schomaker (2000) rapportent que la distribution spatiale des kystes de NKPT dans le profil du sol est partiellement affectée par les pratiques culturales particulièrement le labour.

Durant le stade maturation, des différences dans la distribution verticale des kystes sont notées entre les sites étudiés. Dans le premier site, El Amra, le nombre de kystes diminue dans les profondeurs du sol. Cependant, nous avons collecté un nombre plus important de kystes dans la profondeur 15-30 cm de deuxième site (Bourached) et dans la profondeur 30-40 cm de troisième site Mekhatria en comparaison avec la couche superficielle.

En comparant les nombres de kystes collectés durant les deux stades, nous avons remarqué une diminution des kystes dans les trois couches dans le premier site, ceci pourrait être dû au transport des kystes de la couche superficielle vers les couches les plus profondes (Renčo et *al.*, 2011). Ce transfert peut être expliqué par l'effet du « lessivage » dû à l'irrigation. Dans le deuxième site, une légère augmentation est enregistrée dans les trois couches, ceci pourrait s'expliquer par la formation de nouveaux kystes sous l'effet de la présence de la plante hôte et l'élongation de son système racinaire. Les facteurs qui influencent le plus la distribution des nématodes c'est la présence des racines, leur forme ainsi que leur exsudats (Schneider et Mugniery, 1971; Valdez, 1974; Rousselle et *al.*, 1996). Au niveau de troisième site, le nombre de kystes a diminué dans les deux premières couches mais a augmenté dans la troisième couche du sol (35-40 cm). Whitehead (1977) a dénombré plus de kystes de *Globodera* à la profondeur 20 à 40 cm que dans la profondeur 0 à 20 cm. Been et Schomaker (2000) signalent que 90% des populations de *Globodera* sont trouvées à 0 à 40 cm, mais, plusieurs kystes était parfois détectés à une profondeur de 80 cm et parfois même plus profond. En effet, le système racinaire de cette plante est fasciculée, il a tendance à se ramifier superficiellement mais il peut s'enfoncer pour atteindre une profondeur 40 cm et parfois plus. Du fait que la racine se développe progressivement en profondeur, les juvéniles de deuxième stade (J2), qui peuvent se déplacer indépendamment dans le profil du sol en réponse aux exsudats, vont la pénétrer au fur et à mesure de son élongation puis vont se développer pour donner des mâles ou des femelles qui vont s'enkyster.

L'analyse en composantes principales n'a pas fait ressortir une relation directe entre la distribution verticale de ces nématodes avec le pH et %CaCO₃ du sol. Selon Sarah et *al.* (1991)

in Liu et *al.* (2006), le pH du sol peut influencer indirectement le développement des nématodes, à travers les réactions de l'hôte et en changeant la composition chimique du sol ou des organismes antagonistes présents.

Cette distribution est influencée par plusieurs facteurs, liés à la plante hôte (stade du développement, importance et forme des racines et nature de leur exsudats), pratiques culturales (irrigation, labour, Fertilisation) et par autres facteurs liés au type de sol (texture, matière organique, humidité du sol) (Rousselle et *al.*, 1996; Been et Schomaker, 2000 ; Renčo et *al.*, 2010). L'étude de la distribution verticale de ces nématodes dans le profil du sol est difficile vu l'interaction entre tous ces facteurs. D'autres études sur la distribution verticale de ces parasites doivent être effectuées dans différentes profondeurs pour compléter l'information sur cette distribution en tenant en considération tous les facteurs qui peuvent l'affecter.

Chapitre V

Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

V.1. Problématique

La détection des nématodes à kystes du genre *Globodera*, lors de nos prospections dans plusieurs régions à vocation pomme de terre de la wilaya d'Ain Defla nous a poussé à se poser des questions, essentiellement sur l'importance de l'infestation dans cette région, sur la connaissance des agriculteurs de ces parasites et leur importance économique ensuite sur les mesures de contrôle prises par les services spécialisés de cette wilaya, Direction des Services Agricoles (DSA) ainsi que la station régionale de l'Institut National de Protection de Végétaux (INPV) de Chlef à laquelle est affiliée cette wilaya pour lutter contre ces parasites et limiter leur dissémination dans d'autres régions. En effet, la collaboration entre ces services et les agriculteurs est une condition importante pour réussir toute stratégie de lutte contre les ennemis des cultures. Ainsi, les dirigeants de ces services doivent impliquer les responsables et les agriculteurs des différentes exploitations agricoles EAI, EAC, fermes pilotes ainsi que les agriculteurs privés dans toutes les démarches entreprises, en premier lieu, pour prévenir l'introduction de ces parasites et pour limiter leur développement une fois installés.

Afin de connaître la réalité sur le terrain, nous avons jugé utile de réaliser une enquête qui vise à répondre à notre problématique qui se résume en cinq points essentiels :

- Etat d'infestation des terres à vocation pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla.
- Impact du mode de conduite de la culture de la pomme de terre par les agriculteurs de cette wilaya sur le développement de ces nématodes.
- Connaissance de ces nématodes et leur importance économique par les agriculteurs en d'autre terme existe-t-il une vulgarisation agricole concernant ces parasites dans cette wilaya ?
- Existence d'une volonté de la part des services spécialisés et des agriculteurs pour gérer ces parasites dans le temps et dans l'espace.
- Quels sont les mesures de lutte entreprises par les agriculteurs, la direction des services agricoles et l'institut de protection de végétaux contre ces parasites.

V.2. Objectif de l'enquête

Le but de cette enquête est de rencontrer des professionnels de terrain (responsables des services spécialisés dans la lutte contre les ennemis des cultures) et également des agriculteurs afin de nous répondre aux différentes interrogations et tenter de résoudre notre problématique en analysant les données fournies par les responsables et les agriculteurs enquêtés.

V.3. Méthodologie

Pour arriver à l'objectif d'une telle étude, il est judicieux d'adopter une démarche en prenant en considération la spécificité de la région, ainsi que la vie socio économique et culturelle des agriculteurs. Les difficultés éventuelles étaient prises en considération particulièrement celles liées à l'interlocuteur (agriculteur) : son comportement vis-à-vis de l'enquêteur, doutes envers certaines données et déclarations erronées, ...etc. L'autre difficulté rencontrée lors de la réalisation de cette enquête est l'inaccessibilité à certaines exploitations, ce qui rend la tâche de l'enquêteur dans certaines conditions.

V.3.1. Phase pré enquête

Des recherches bibliographiques et des entretiens auprès des agriculteurs, techniciens travaillant dans la région ainsi que les responsables des Services agricoles (DSA et INPV) nous ont permis d'avoir une idée générale des exploitations de la région.

V.3.2. Phase enquête proprement dite

Pour répondre à notre problématique et après les différentes recherches théoriques sur les nématodes à kystes *Globodera*, et sur la région, nous avons opté pour une enquête sur le terrain qui a été réalisée en trois étapes :

- La première consiste en un entretien réalisé avec le responsable de laboratoire Nématologie de Chlef qui avait pour objectif d'avoir plus d'information sur le processus suivi par cet organisme pour lutter contre les NKPT.
- La deuxième étape consistait à une analyse des résultats des analyses nématologiques dont dispose la SRPV de Chlef que nous avons supposé susceptibles de nous donner un aperçu sur l'état d'infestation dans cette wilaya.
- La troisième étape est menée sur le terrain auprès d'un nombre d'exploitations agricoles afin de compléter nos informations sur la situation des *Globodera* dans cette wilaya.

V.3.2.1. Enquête auprès du Responsable de laboratoire de Nématologie de Chlef

Un questionnaire destiné aux responsables du Laboratoire de Nématologie de la SRPV de Chlef a été élaboré. Il comporte un ensemble de questions relatives aux analyses nématologiques réalisées par cet organisme, la réaction des agriculteurs vis à vis de la réalisation de ces analyses et vis-à-vis des résultats quant les échantillons analysés s'avèrent infestés par

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

ces nématodes et enfin aux mesures prises par cet organisme en cas de détection de la présence des ces parasites dans une parcelle ou dans un lot de tubercules de pomme de terre destinés exclusivement à la multiplication de semences. Dans ce questionnaire, comme pour celui destiné aux agriculteurs, il y'a des questions qui se ressemblent et se lient afin de tirer les conclusions.

V.3.2.2. Analyse des résultats du laboratoire Nématologie de la SRPV de Chlef sur l'état d'infestation par les *Globodera* spp.

L'objectif de cette partie de l'enquête est de compléter nos résultats sur l'importance de l'infestation des terres agricoles à vocation pomme de terre de la wilaya d'Ain Defla par les nématodes à kystes *Globodera* et mettre en évidence le processus suivi par les services spécialisés dans la protection de végétaux pour la réalisation des analyses nématologiques. Pour cela, nous nous sommes adressés à la Station Régionale de la Protection de Végétaux SRPV de Chlef, à laquelle sont affiliées les wilayas de Chlef, Tissemsilt et Ain Defla, (notre région d'étude) afin de recueillir le maximum de résultats sur l'état d'infestation dans Ain Defla. Après une discussion avec le Directeur et le responsable du laboratoire de Nématologie de cet organisme sur les objectifs de notre enquête, nous avons pu obtenir les résultats d'analyses nématologiques (échantillons du sol et tubercules) (Annexes 4, 5, 6, 7) relatifs à quelques compagnes agricoles. En effet, un nombre considérable de bulletins d'analyses nématologiques d'échantillons du sol ou de tubercules de pomme de terre destinés à la multiplication de semences pour plusieurs compagnes agricoles a été mis à notre disposition. Ainsi, nous avons pu analyser ces bulletins un à un et faire une synthèse sur l'importance de l'infestation en calculant le pourcentage d'échantillons infestés et le pourcentage d'échantillons indemnes. Il est à noter que, pour certaines compagnes, seulement des documents contenant des tableaux récapitulatifs des résultats nous ont été remis.

V.3.2.3. Enquête auprès des agriculteurs (responsables d'exploitations agricoles)

V.3.2.3.1. Choix de l'échantillon

Nous avons enquêté sur 34 exploitations agricoles. Le nombre et le choix de ces dernières est dicté par un certain nombre de critères pris en considération pour assurer la représentativité de l'échantillon mais aussi en fonction de l'accessibilité aux exploitations agricoles:

- L'échantillon d'exploitations agricoles enquêtées est réparti en différentes catégories (EAI, EAC, fermes pilotes et agriculteurs privés).
- Ces exploitations sont situées dans différentes communes de la wilaya d'Ain Defla.
- Parmi les agriculteurs enquêtés, des agriculteurs potentiels sont choisis.

V.3.2.3.2. Elaboration des questionnaires et collecte de données

Pour mieux cerner la problématique de départ, l'enquête a nécessité l'élaboration d'un ensemble de questionnaires qui s'orientent aux agriculteurs et responsables des différentes exploitations agricoles. Ces derniers comportent quatre sections essentielles :

1. Présentation de l'exploitation : localisation, type d'exploitation, superficie de l'exploitation ainsi que la superficie occupée par la culture de pomme de terre et niveau de technicité du gérant.
2. Caractéristiques du site et mode de conduite de la culture : Cette partie prend en considération l'environnement de la parcelle cultivée en pomme de terre et toutes les techniques culturales (variété, précédent cultural, système de culture, type d'irrigation...) qui peuvent influencer le développement des nématodes à kystes particulièrement les *Globodera*.
3. Connaissance des nématodes à kystes *Globodera* : Cette partie de l'enquête a pour objectif principal de révéler si les responsables des exploitations agricoles et les agriculteurs connaissent ces parasites ou ils ignorent leur existence. Pour cela, un ensemble de questions leur sont adressées concernant l'appellation de ces nématodes, leur couleur, leur forme et sur leurs symptômes). De même, des questions vont porter sur la réalisation d'analyses nématologiques dans les différentes exploitations agricoles particulièrement dans les parcelles destinées à la multiplication de la pomme de terre de semences.

4. Méthodes de lutte utilisées contre les nématodes : La dernière partie de l'enquête concerne les différentes méthodes de lutte appliquées lors de la conduite de la culture dans les exploitations agricoles enquêtées et qui sont susceptibles de protéger ce type de culture contre ces parasites (utilisation de nématicides ou de pesticides ayant un effet nématicide, rotations, amendement, cultures associées..).

V.3.3. Déroulement de l'enquête

Abstraction faite des difficultés rencontrées avec quelques agriculteurs, le questionnaire a été bien reçu par la majorité des responsables des différentes exploitations agricoles et par le responsable de l'INPV (SRPV de Chlef) ayant répondu positivement (sauf pour quelques questions dont les réponses ont été jugées de type confidentiel pour quelques agriculteurs).

V.3.4. Analyse et interprétation des résultats

L'analyse des informations fournies par les agriculteurs et responsables enquêtés, nous a permis de répondre à nos interrogations.

La figure 32 résume la démarche entreprise pour la réalisation de cette enquête.

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

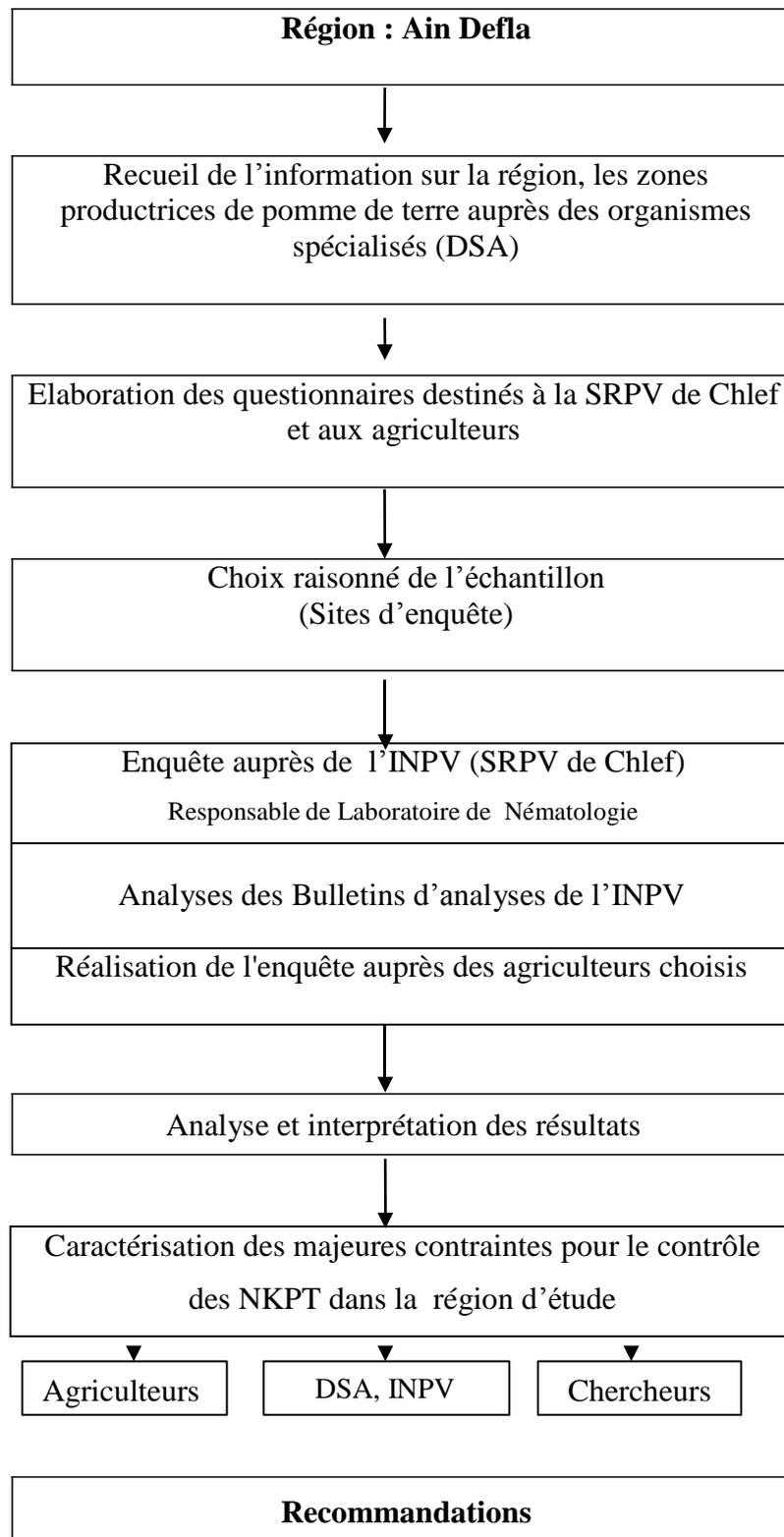


Figure 32 : Démarche entreprise pour la réalisation de l'enquête.

V.4. Résultats

V.4.1. Enquête auprès de la SRPV de Chlef

Type de nématodes concernés par les analyses nématologiques : La discussion avec le responsable de service de Nématologie de la SRPV de Chlef a révélé que les analyses nématologiques effectuées dans les champs cultivés en pomme de terre ciblent les NKPT. L'intérêt accordé par cet organisme à ces nématodes est lié à leur statut « parasites de quarantaine ».

Type de culture concernée par l'analyse : Les analyses nématologiques sont effectuées sur la culture de pomme de terre de semences. Les deux types de cultures (saison et arrière saison) sont concernés par ces analyses. Des échantillons du sol prélevés de parcelles destinées à la multiplication de semences et des tubercules prélevés de lots destinés à être plantés sont analysés.

Réaction de l'agriculteur : La réaction de l'agriculteur est généralement favorable.

Période de la réalisation de l'analyse : Avant la mise en place de la culture.

Echantillonnage : Le prélèvement des échantillons du sol dans différents endroits de la parcelle programmée à la multiplication de semences (Prélèvement de plusieurs échantillons élémentaires dans la parcelle pour constituer un échantillon global représentatif) ou d'échantillons de tubercules de pomme de terre dans les lots destinés à être plantés dans ces parcelles est effectué par la Direction des Services Agricoles DSA d'Ain Defla.

Méthode d'analyse : La technique d'analyse utilisée est celle de Fenwick pour les échantillons de sol pour extraire les kystes éventuellement présents et l'observation sous loupe et microscope optique pour l'analyse des tubercules de pomme de terre.

Résultats de l'analyse nématologique

- Estimation de l'infestation : L'estimation de l'infestation est effectuée par dénombrement des kystes pleins/quantité de sol.
- Identification des espèces : Les analyses nématologiques effectuées au niveau de la SRPV de Chlef se limitent à la détection de ces nématodes. L'identification des espèces ne s'effectue pas au niveau de cet organisme.

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

- Communication des résultats aux agriculteurs : Les résultats des analyses nématologiques sont soumis à la DSA qui à son tour va les communiquer aux agriculteurs soit par convocation de l'agriculteur ou par courrier.
- Décision de l'organisme en cas d'infestation d'une parcelle
En cas où la parcelle est infestée, elle sera interdite pour la multiplication de semences de pomme de terre.

V.4.2. Analyse des résultats du laboratoire de Nématologie de la SRPV de Chlef sur l'état d'infestation par les *Globodera* spp.

L'étude des documents qui étaient mis à notre disposition par la SRPV de Chlef a révélé que les analyses nématologiques sont effectuées sur des échantillons du sol provenant de parcelles destinées à la multiplication de semences de la pomme de terre ou sur des échantillons de semences de pomme de terre (tubercules). Ces analyses sont réalisées par des ingénieurs agronomes de la SRPV de Chlef, suite à une demande de l'Inspecteur de la Protection de Végétaux de la Direction des Services Agricoles de la DSA d'Ain Defla.

Les analyses sont effectuées deux fois par campagne agricole :

- A partir du mois de Mai jusqu'au mois de Juillet et parfois au mois d'Août pour la pomme de terre d'arrière saison
- A partir du mois de Novembre jusqu'au mois de Février pour la pomme de terre de saison.

Les résultats sont présentés sous forme de bulletins qui contiennent des détails sur :

- L'échantillon : code relatif à l'agriculteur chez lequel on prélève l'échantillon, nature de l'échantillon (sol ou tubercules), date et lieu de prélèvement.
- L'envoi de l'échantillon : nom du demandeur, date de la réception de l'échantillon et sa provenance.
- L'analyse réalisée : Nom de l'agent demandeur, analyse effectuée, technique utilisée, date de la réalisation de l'analyse et nom de l'agent qui a effectué l'analyse.
- Résultats de l'analyse nématologique : présence ou absence du nématode visé par l'analyse.

Les bulletins délivrés sont présentés dans la Figure 33.

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL
STATION REGIONALE DE CHLEF
LABORATOIRE DE NEMATOLOGIE



BULLETIN D'ANALYSE

Réf. : Némato / 001/ S/S / 2012

I - DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON

- Etablissement : 01/44/S/11/12
- Nature de l'échantillon : Sol de Pomme de terre de saison 2012
- Lieu de prélèvement : W. AIN DEFLA.
- Date de Prélèvement : Novembre 2011

II - ENVOI

- Numéro de l'échantillon : 01
- Date de réception de l'échantillon : 04 / 12/ 2011.
- Numéro de lot : /
- Provenance : IPW/DSA AIN DEFLA.

III - ANALYSES

- Nom de l'agent demandeur : KOUACHE ABDELAH.
- Analyse effectuée : Recherche de nématodes du genre *Globodera Sp.*
- Technique utilisée : Extraction par l'appareil de Fernwick / Observation sous Loupe binoculaire et microscope
- Date d'analyse : 04 / 12/ 2011.
- Analyse effectuée par : M^{me} Madani N.

IV - RESULTATS

Absence de nématodes du genre *Globodera sp.*

Fait à CHLEF le :

L'ingénieur Chargé
M^{me} Madani N

Figure 33 : Bulletin délivré par la SRPV de Chlef suite à l'analyse nématologique d'un échantillon du sol d'une parcelle destinée à la multiplication de semences ou des tubercules de pomme de terre.

Les documents remis par l'INPV de Chlef sont les bulletins d'analyse des échantillons du sol et tubercules de pomme de terre :

▪ **Échenillons du sol**

- Pomme de terre de saison : Six campagnes agricoles (2006-2007 ; 2007-2008. ; 2008-2009, 2010-2011 ; 2011-2012 ; 2013-2014).
- Pomme de terre d'arrière saison : Deux campagnes agricoles (2005-2006 ; 2006- 2007).

▪ **Tubercules**

- Pomme de terre de saison : deux campagnes : 2007-2008 ; 2008-2009.
- Pomme de terre d'arrière saison : trois campagnes : 2005-2006, 2006-2007 et 2011-2012

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes Globodera de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

Nous avons analysé tous les bulletins. Nous avons pu établir des tableaux récapitulatifs (Annexes 4, 5, 6, 7) et des graphes (Figures 34 et 35) qui donnent une idée générale sur l'importance de l'infestation de la pomme de terre durant quelques campagnes agricoles de saison et d'arrière saison.

V.4.2.1. Importance de l'infestation des échantillons du sol

Pour le sol, le nombre d'échantillons analysés le plus élevé est enregistré lors de la campagne agricole 2012-2013 pour la pomme de terre de saison (851 échantillons) et le nombre le plus réduit est noté lors de la campagne agricole 2008-2009 pour la pomme de terre de saison (19 échantillons) (Annexes 4).

L'analyse des figures 34 et 35 montre que le taux d'infestation diffère aussi d'une campagne agricole à une autre et d'une saison à une autre.

Pour la pomme de terre de saison, les résultats relatifs à six campagnes agricoles ont montré que le pourcentage d'échantillons du sol infestés le plus élevé est celui de la campagne 2006-2007 (41,94%) et le pourcentage le plus faible est celui de campagne de 2013-2014 (2,94%) (Figure 34).

Pour la pomme de terre d'arrière saison, seulement les bulletins d'analyses de deux campagnes agricoles nous ont été remis par la SRPV de Chlef. En 2005-2006, 39,45% des 109 échantillons analysés étaient infestés. Par contre, durant la campagne agricole suivante, tous les échantillons analysés (105) étaient déclarés indemnes (Figure 35).

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

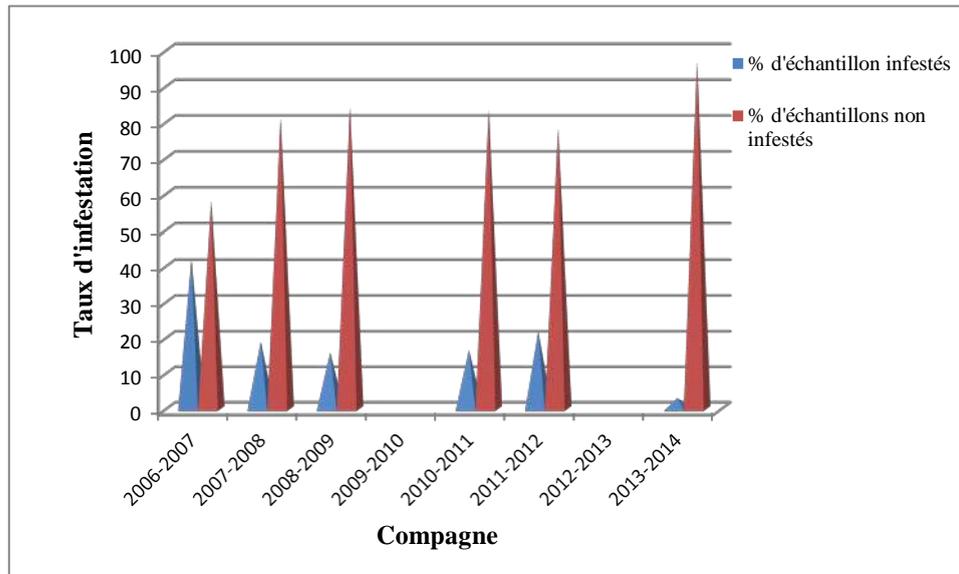


Figure 34 : Taux d'infestation de pomme de terre de saison durant la période 2006-2014 dans la wilaya d'Ain Defla (selon la SRPV de Chlef).

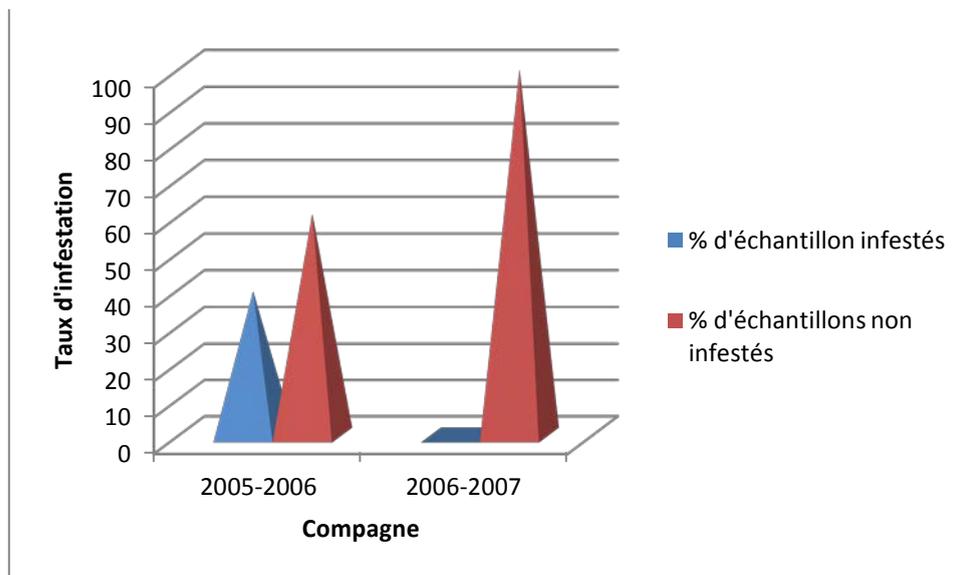


Figure 35: Taux d'infestation des de pomme de terre d'arrière saison durant 2005-2007 dans la wilaya d'Ain Defla.

V.4.2.2. Importance de l'infestation des tubercules

Les résultats relatifs à l'importance de l'infestation des tubercules de pomme de terre destinés à la multiplication de semence, pour deux campagnes agricoles (2007-2008 ; 2008-2009) pour la pomme de terre de saison et trois campagnes agricoles pour la pomme de terre d'arrière saison (2005-2006, 2006-2007 et 2011-2012) ont révélé que tous les échantillons analysés sont indemnes. Le nombre d'échantillons analysés le plus élevé est enregistré lors de la campagne 2011-2012 pour la pomme de terre d'arrière saison (425 échantillons) et le nombre le plus réduit est enregistré lors de la campagne 2008-2009 pour la pomme de terre d'arrière saison (42 échantillons) (Annexes 6,7).

V.4.3. Analyse des données recueillies auprès des agriculteurs

V.4.3.1. Présentation des exploitations enquêtées

V.4.3.1.1. Situation et superficie

Des enquêtes sont effectuées auprès des producteurs de pomme de terre dans différentes zones de culture de la pomme de terre à Ain Defla. Notre étude a porté sur 34 exploitations agricoles et les données relatives à la situation et superficie de ces dernières sont présentées dans le tableau 13 :

La superficie totale de l'ensemble des exploitations enquêtées est 2146 ha. La superficie totale occupée par les plantes herbacées est de 1559 ha. La superficie totale occupée par la culture de pomme de terre est de 1322 ha, soit 61,6% de la superficie des exploitations enquêtées et 84,8% de la superficie consacrée aux cultures herbacées.

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes Globodera de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

Tableau 13 : Situation des exploitations enquêtées et importance de la culture de pomme de terre (dans ces exploitations).

Localisation	Nombre d'exploitations enquêtées	Superficie totale des exploitations (ha)	Superficie totale des plantes herbacées (ha)	Superficie totale de la pomme de terre (ha)	Superficie de pomme de terre par rapport à la superficie de l'exploitation (%)	Superficie de pomme de terre par rapport à la superficie des plantes herbacées (%)	Superficie étudiée (ha)
Bir Ould Khelifa	8	279	234	183	65,59	78,20	142
Bourached	6	900	530	520	57,77	98,13	392
Djendel	1	40	40	40	100	100	40
Sidi Lakhdar	2	40	40	40	100	100	40
Khemis	1	21	21	15	71,42	71,42	6
Attaf	1	32	12	12	37,5	100	8
Djelida	1	140	93	55	39,28	59,14	40
Rouina	10	451	376	284	62,97	75,53	177
Ain Defla	3	123	93	53	44,16	56,99	28
Zeddine	1	120	120	120	100	100	60
Total	34	2146	1559	1322	61,60	84,8	933

V.4.3.1.2. Statut des exploitations enquêtées

Les exploitations enquêtées sont réparties en quatre catégories en fonction de leur statut (Figure 36). 73% des agriculteurs ont des exploitations privées dont les terres sont issues d'héritage, achetées d'autres propriétaires ou louées. 14% des exploitations sont des fermes pilotes. Les autres exploitations sont soit des exploitations agricoles individuelles (5,88%) ou collectives (5,88%).

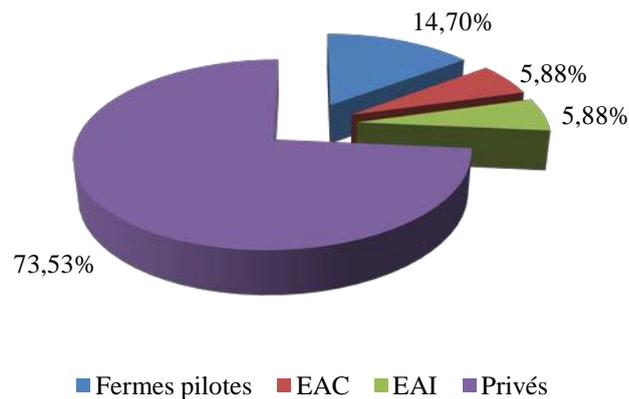


Figure 36: Statut des exploitations agricoles enquêtées.

V.4.3.1.3. Niveau de technicité des gérants des exploitations enquêtées

Les résultats indiquent que la majorité des agriculteurs enquêtés, qui aussi sont les gérants de leurs exploitations, sont caractérisés par un bas niveau de technicité, en effet 70,59% n'ont acquit aucune formation agricole. En revanche, 30,54% de ces agriculteurs sont d'un certain niveau de formation : ils sont soit des agriculteurs qualifiés (17,65%), des techniciens (2,94%) ou même des ingénieurs (8,32%) (Figure 37).

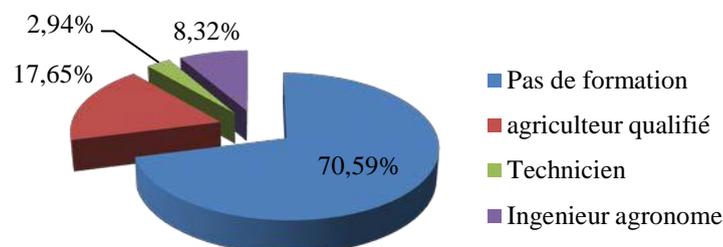


Figure 37 : Niveau de formation des agriculteurs enquêtés.

V.4.3.1.4. Type de culture

L'enquête a révélé que 17,65% des agriculteurs cultivent la pomme de terre de consommation, 29,41% font la multiplication de semences et 52,94% produisent la pomme de consommation et ont des parcelles qu'ils consacrent à la multiplication de semences (Figure 38).

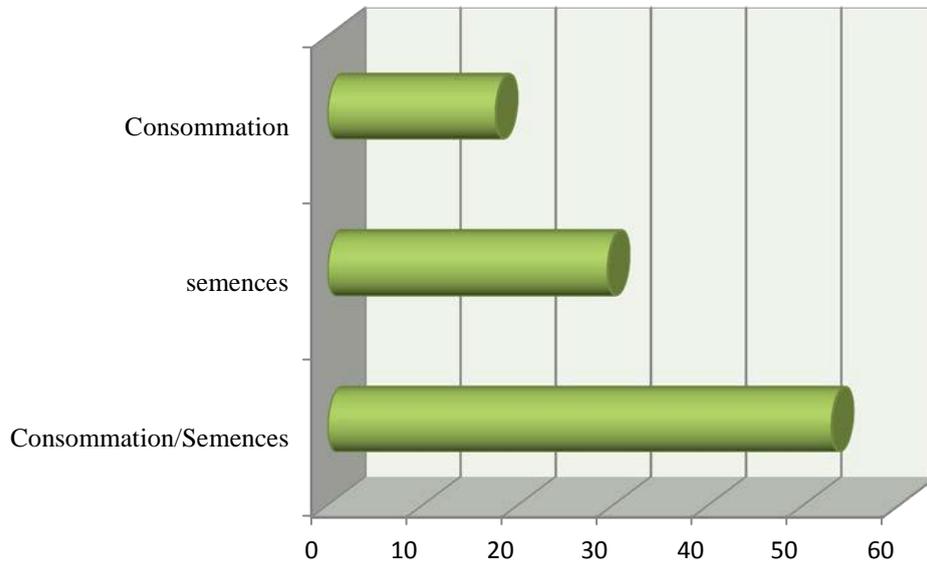


Figure 38: Destination de culture de pomme de terre cultivée dans les exploitations enquêtées.

V.4.3.2. Caractéristiques de site et mode de conduite de la culture

Dans chaque exploitation agricole, une parcelle a été prise comme échantillon afin d'étudier le mode de conduite de la culture de pomme de terre et son effet sur les nématodes à kystes du genre *Globodera* qui parasitent cette culture.

V.4.3.2.1. Système de culture, variétés cultivées et type de rotation

- Système de culture

Dans toutes les exploitations enquêtées la pomme de terre est conduite en système intensif sur de grandes superficies en utilisant tous les intrants (mécanisation, beaucoup de produits phytosanitaires, engrais....).

- Variétés cultivées

D'après l'analyse des résultats concernant les variétés cultivées, dans les différentes parcelles échantillonnées, il s'avère que la variété la plus cultivée dans la région d'Ain Defla est la variété Spunta qui est une variété sensible vis-à-vis des nématodes à kystes de la pomme de terre. En effet, 67,65% des parcelles sont cultivées par Spunta et dans certaines parcelles cette variété est cultivée en association avec d'autres variétés tel que Kondor (14,70% des parcelles), Ultra (2,94% des parcelles) ou avec Atlas et Désirée (2,94% des parcelles. Les variétés Kondor, Désirée et Ultra sont aussi cultivées seules dans d'autres parcelles (dans 5,88%, 2,94% des parcelles respectivement) (Figure 39). Les variétés : Sarpomira et Bartina figurent aussi dans les précédents culturaux de certaines parcelles.

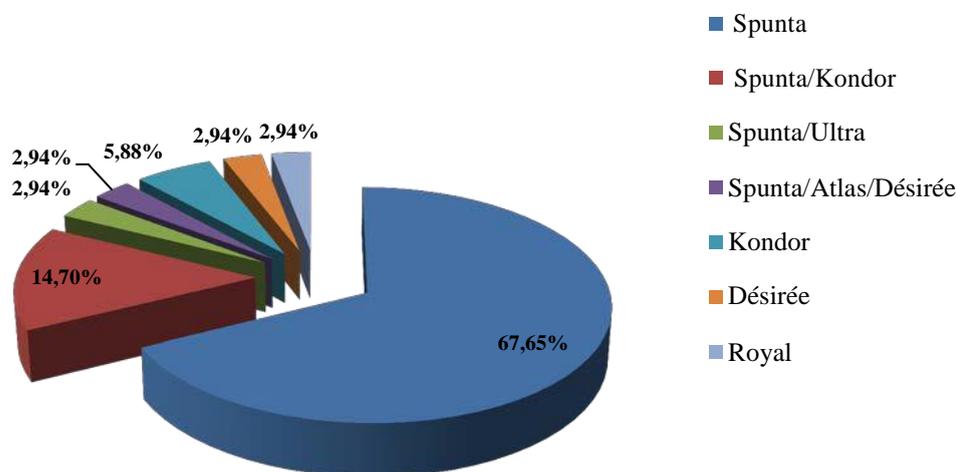


Figure 39: Variétés cultivées dans les parcelles enquêtées.

- Type de rotation

L'enquête s'est aussi intéressée au type de rotation appliquée dans la région d'Ain Defla. Des questions sont posées aux agriculteurs sur la culture mise en place et les cinq derniers précédents culturaux. Les réponses étaient parfois complètes mais parfois seulement des réponses sur deux ou trois précédents culturaux sont données surtout quand l'agriculteur a loué la parcelle (tableau 14). Les aspects qui ressortent de l'analyse de ces résultats sont :

La monoculture est pratiquée dans 32,37 % des parcelles échantillonnées (11 parcelles) où la pomme de terre revient 3 à 6 fois successivement.

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

La rotation dominante est la rotation pomme de terre-céréale. Elle est généralement binaire. Parfois, d'autres cultures sont introduites tel que les cultures maraîchères (melon, pastèque et courgette) mais il reste que la durée de la rotation n'est pas suffisamment longue pour le contrôle des NKPT.

L'aspect intéressant est que dans certaines parcelles, la jachère qui est l'une des méthodes culturales les plus efficaces dans la lutte contre les NKPT est introduite dans la rotation.

Tableau 14: Type de rotation appliquée dans les parcelles étudiées

N° de l'exploitation	Type de rotation
1	Pomme de terre/Céréales/Pomme de terre/Céréales/Pomme de terre/Céréales
2	Pomme de terre/Céréales/pomme de terre/Céréales/pomme de terre/Céréales
3	Pomme de terre/Jachère/céréales/Pastèque/Pomme de terre/Céréales
4	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Jachère/Céréales
5	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre
6	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre
7	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Jachère/Céréales
8	Pomme de terre/Céréales/Céréales/Maraîchage/Céréales/Céréales
9	Pomme de terre/Pomme de terre/Pastèque/Courgette
10	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre
11	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Céréales/Pomme de terre/Céréales
12	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Jachère/Pomme de terre/Pomme de terre
13	Pomme de terre/ Céréales /Céréales/Céréales/Céréales/Céréales
14	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre
15	Pomme de terre/Céréales/Pomme de terre/Céréales
16	Pomme de terre/Céréales/Jachère/Labour
17	Pomme de terre/Jachères/Céréales
18	Pomme de terre/Pomme de terre/Céréales
19	Pomme de terre/ Céréales/Céréales/Maraîchage/Céréales
20	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre
21	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre
22	Pomme de terre/Pomme de terre/Céréales
23	Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre/Pomme de terre
24	Pomme de terre/Céréales/Céréales/Pomme de terre/Pastèque/Céréale
25	Pomme de terre/Céréales/Céréales/Pomme de terre/Pastèque/Céréale
26	Pomme de terre/Céréales/Céréales/Pomme de terre/Pastèque/Céréale

27	Pomme de terre/Céréales+Oignon/Pomme de terre/Céréales/Pomme de terre/Céréales
28	Pomme de terre /jachère/céréales
29	Pomme de terre/Melon/Melon/Pomme de terre/Céréales/Céréales
30	Pomme de terre/Céréales/Pomme de terre/Jachère/Céréales/Pomme de terre
31	Pomme de terre/Céréales/Jachère/Pomme de terre/Céréales/Céréales
32	Pomme de terre/Céréales/Jachère/Jachère/Jachère/Jachère
33	Pomme de terre/Melon/Pomme de terre/Céréales/Melon/Céréales
34	Pomme de terre/Pomme de terre/Céréales /Pomme de terre/Céréales /Pomme de terre

V.4.3.2.2. Environnement des parcelles

a. Présence de bordure et type culture avoisinante

Le paysage environnant une parcelle agricole joue un rôle important dans la dissémination de ces parasites de cette parcelle vers d'autres parcelles en cas de son infestation ou bien d'autres parcelles vers celle-ci si des parcelles se trouvant à sa proximité sont infestées. La majorité des parcelles enquêtées sont entourées d'autres parcelles cultivées en pomme de terre (41,17%). 23,52% sont entourées de parcelles cultivées en pomme de terre et d'autres cultivées d'autres cultures. Il y'a d'autres parcelles qui sont situées à proximité de parcelles cultivées uniquement d'autres cultures, généralement des céréales, maraîchage ou arboriculture fruitière (23,52%). Et enfin, il y'a certaines parcelles qui ne sont pas entourées de parcelles cultivées, elles se trouvent à proximité des habitations ou de routes... (Figure 40).

Les réponses relatives à la présence ou l'absence d'une bordure autour des parcelles ont révélé que 55,88% des parcelles ont des bordures (Figure 41).

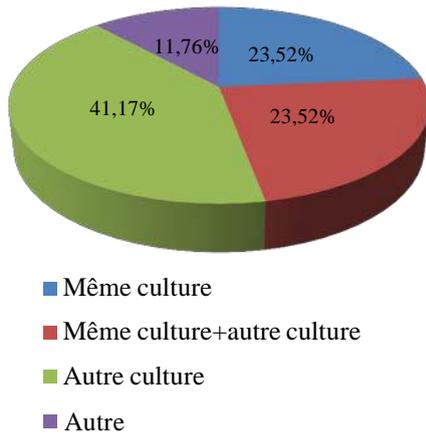


Figure 40: Environnement des parcelles enquêtées

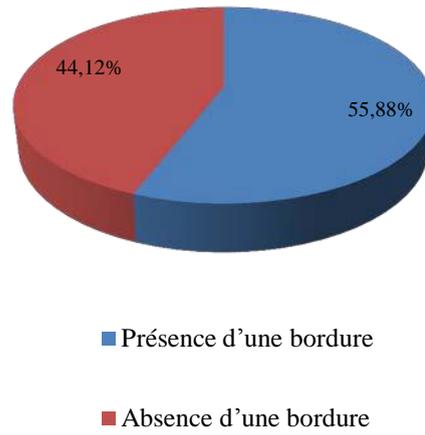


Figure 41 : Présence ou absence d'une bordure autour des parcelles

b. Texture du sol

Peu d'agriculteurs enquêtés connaissent la texture du sol de leurs parcelles. Généralement, les réponses données par les agriculteurs sur la texture du sol sont plutôt descriptives. La plupart des parcelles cultivées avaient des sols rouges et légers, les agriculteurs appellent ce type de sol « *Hemri* ». Certains agriculteurs, avaient des parcelles à sol lourds (argileux) et d'autres ont des sols noirs avec une textures limono-argileuses.

V.4.3.2.3. Mécanisation

Dans toutes les exploitations, l'utilisation de la mécanisation constitue l'un des facteurs de production. Plusieurs machines sont utilisées comme les tracteurs, les camions pour le transport des intrants, des planteuses, pulvérisateurs...Mais ce qui est noté au sein des exploitations c'est le mauvais entretien du matériel. En effet, ces instruments sont rarement nettoyés.

V.4.3.2.4. Pratiques culturales (Irrigation, plantes associées, jachère, labour d'été)

Concernant le type d'irrigation utilisé, il s'avère que l'aspersion est le moyen le plus utilisé pour l'irrigation des parcelles cultivées en pomme de terre (Figure 42).

Dans 82,35% des parcelles enquêtées, aucune plante n'est associée à la pomme de terre. Dans les autres parcelles, la pomme de terre est associée à des arbres fruitiers, des cultures herbacées (autre maraîchage) ou adventices (Figure 43).

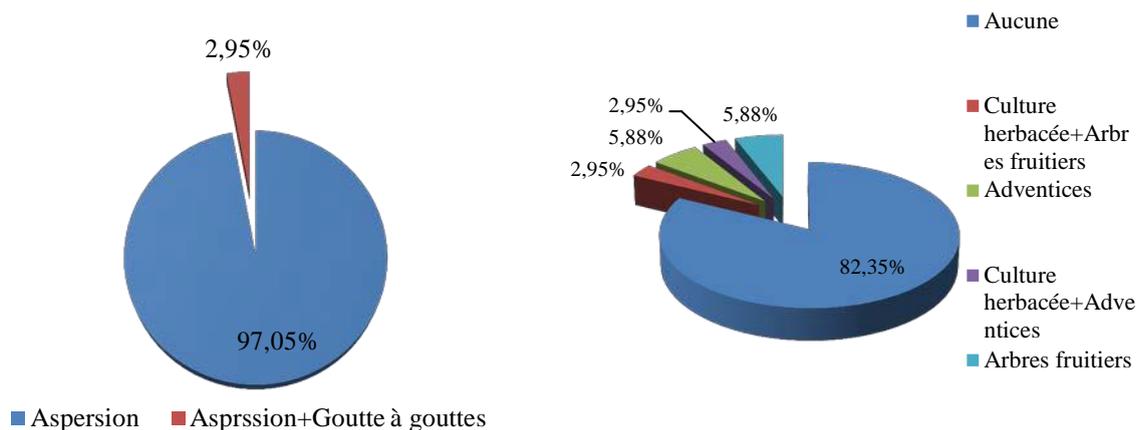


Figure 42: Type d'irrigation utilisé dans les parcelles enquêtées.

Figure 43 : Plantes associées à la pomme de terre dans les parcelles enquêtées.

D'après les réponses obtenues auprès des agriculteurs sur la pratique de la jachère dans les parcelles prospectées, on remarque qu'un pourcentage important d'agriculteurs (52,95%) n'ont pas fait recours à cette pratique culturale. Le reste des agriculteurs ont pratiqué la jachère travaillée (32,35%) ou la jachère non travaillée (14,70%) (Figure 44).

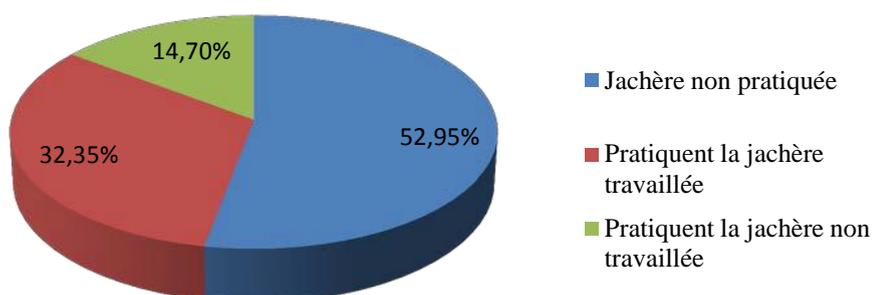


Figure 44 : Pratique de la jachère dans les parcelles enquêtées.

V.4.3.3. Connaissance de ces parasites par les agriculteurs

En se référant aux résultats obtenus par le biais de questionnaire, on remarque que les agriculteurs enquêtés se répartissent en 4 catégories (Figure 45) :

- Ceux qui ne connaissent pas le parasite : ils représentent 29,41% des agriculteurs enquêtés, ils ne savent même pas que le parasite existe.
- Ceux qui connaissent le parasite, sa morphologie et ses symptômes : 8,82% des agriculteurs enquêtés connaissent ce parasite puisqu'ils ont bien répondu aux questions relatives à sa morphologie et ses symptômes. Il s'agit d'agriculteurs qui ont un niveau de formation ou technicité élevé (Ingénieurs ou techniciens) et même d'un agriculteur potentiel. Ils ont même répondu à la question relative à leur appellation dans le dialecte local ou *Derdja* puisqu'ils ont rapporté que ces nématodes sont appelés " *patate* ".
- Ceux qui connaissent le parasite mais ne connaissent pas sa morphologie ou ses symptômes : ils représentent 23,53% des agriculteurs enquêtés, ces agriculteurs ont déclaré qu'ils sont informés de l'existence de ces parasites via les services de la DSA, ils savent très bien que les analyses effectuées sur les parcelles de pomme de terre destinées à la multiplication de semences concernent ces nématodes. Cependant, ils ne connaissent pas leur morphologie ou leurs symptômes.
- Ceux qui savent que ces parasites existent mais ils les confondent avec d'autres parasites ou ravageurs : ils représentent 8,82% % des agriculteurs enquêtés. En effet, ces agriculteurs ont déclaré qu'ils connaissent ces nématodes qui s'attaquent à la pomme de terre mais en les interrogeant sur leur appellation dans le dialecte local, sur leur morphologie et symptômes, nous avons compris à travers leurs réponses qu'ils les confondent particulièrement avec des larves d'insectes tels que le vers blanc. Ils ne savent même pas que ces parasites sont des vers microscopiques bien distincts des larves d'insectes.

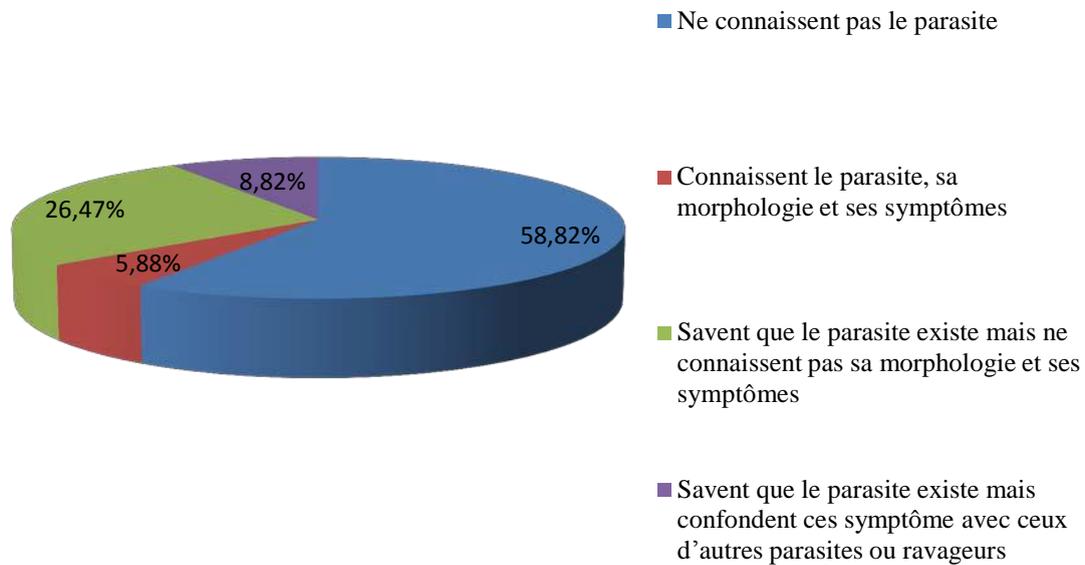


Figure 45: Connaissance des nématodes à kystes de la pomme de terre par les agriculteurs enquêtés.

V.4.3.4. Analyses nématologiques

V.4.3.4.1. Réalisation des analyses nématologiques dans les exploitations enquêtées

Compte tenu de l'importance des analyses nématologiques régulières au sein d'une exploitation agricole et afin de détecter le parasite précocement et particulièrement dans les parcelles destinées à la multiplication de semences, nous avons réservé dans le questionnaire une partie aux analyses nématologiques.

Les résultats de l'enquête ont montré que plus de la moitié des agriculteurs enquêtés (58,82%) y compris ceux qui font la multiplication de semences n'ont jamais effectué des analyses nématologiques. Cependant, 47,06% de ces agriculteurs ont affirmé qu'ils effectuent des analyses nématologiques avant la mise en place de leur culture (Figure 46).

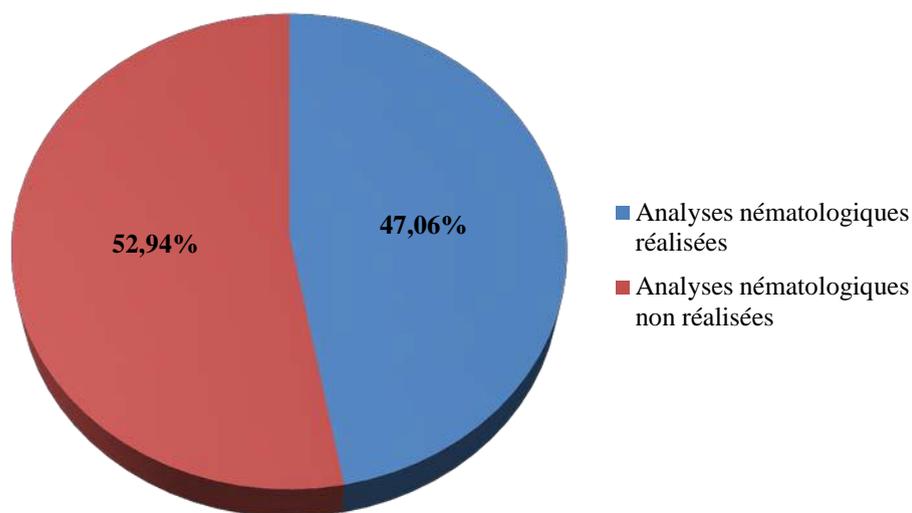


Figure 46 : Importance des analyses nématologiques dans les exploitations enquêtées.

V.4.3.6.2. Organisme ayant effectué les analyses nématologiques

Nous avons interrogé les agriculteurs qui ont effectué des analyses nématologiques sur l'organisme qui a fait ces analyses. 75% de ces agriculteurs ont révélé que l'INPV (SRPV de Chlef) leur a fait ces analyses. Ils ont expliqué que les services de la DSA viennent régulièrement prélever des échantillons de sol dans les parcelles qui sont destinées à la multiplication de semences puis ces échantillons sont analysés à l'INPV de Chlef. Cependant, 25% de ces agriculteurs ont rapporté que des organismes privés leur ont effectué ces analyses (Figure 47).

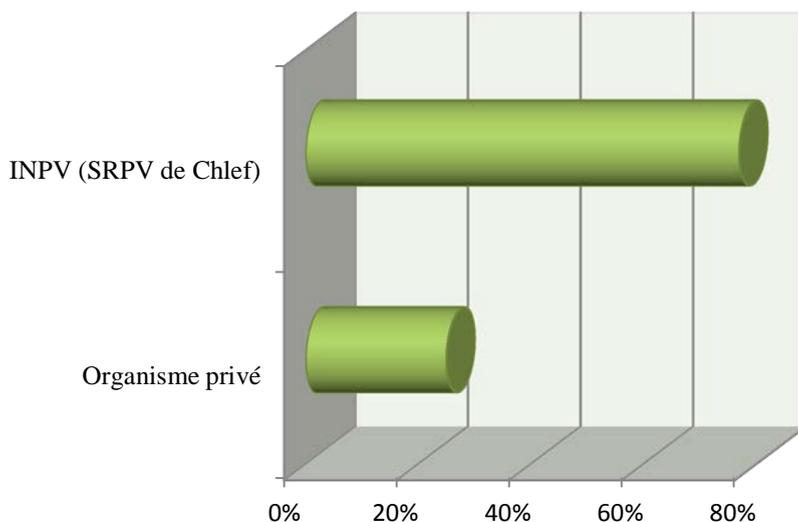


Figure 47 : Organismes effectuant les analyses nématologiques dans les exploitations enquêtées.

V.4.3.4.2. Résultats des analyses nématologiques effectuées dans les exploitations enquêtées

Concernant les résultats de ces analyses pour la culture en cours dans les différentes parcelles analysées dans les exploitations enquêtées, 43,75% ont déclaré que le résultat était négatif dans toutes les parcelles. En revanche, 37,50% ont déclaré que ces parasites étaient détectés dans les parcelles analysées dans leur exploitation. 18,75% des agriculteurs ont déclaré que quelques parcelles dans leurs exploitations se sont avérées infestées tandis que d'autres sont saines (Figure 48).

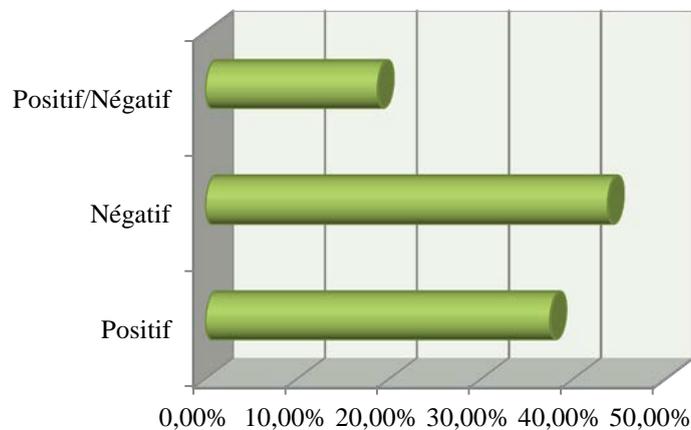


Figure 48: Résultats des analyses nématologiques dans des parcelles des exploitations agricoles enquêtées d'après les agriculteurs.

V.4.3.5. Méthodes de lutte utilisées dans les exploitations enquêtées et leur effet sur les nématodes à kystes de la pomme de terre

Dans notre enquête nous nous sommes intéressés aux techniques de fertilisation et aux méthodes de lutte utilisées par les agriculteurs, soit celles qui ciblent directement les NKPT ou celles qui ciblent d'autres ravageurs ou pathogènes de cette culture et ont un effet sur ces parasites. Les questions relatives à cette partie ne concernent pas une parcelle déterminée mais nous avons voulu avoir une idée sur ce qui se fait en général dans chaque exploitation.

V.4.3.5.1. Fertilisation

Nous désignons par fertilisation le type d'amendements utilisés (organique ou minéral). La figure 49 montre que 67,65% des agriculteurs pratiquent l'amendement minéral (NPK15.15.15 et l'Urée 46 %). Alors que seulement 32,35% d'entre eux pratiquent la

fertilisation mixte, organique (fumier des ovins, caprins, volailles) et minérale. Les amendements organiques sont partiellement utilisés.

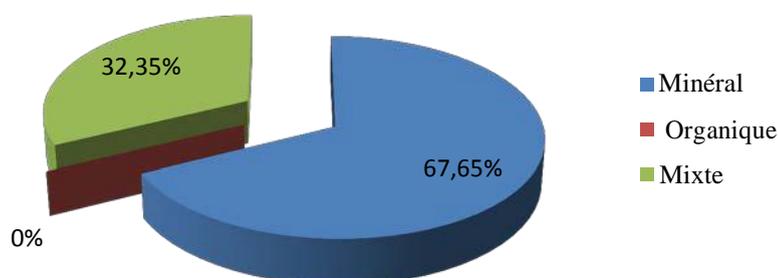
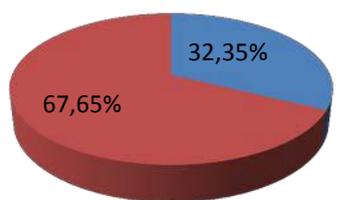


Figure 49: Type d'amendements apportés à la culture de pomme de terre dans les exploitations enquêtées.

V.4.3.5.2. Pratiques culturales

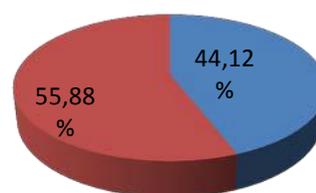
La lutte contre les NKPT peut se faire préventivement par des pratiques culturales telles que la gestion de la rotation, l'utilisation de la jachère et le labour d'été. Des questions étaient adressées aux agriculteurs sur ce sujet. L'analyse des réponses indiquent que :

La majorité des agriculteurs pratiquent la polyculture (67,65%), ceci a été confirmé en analysant les types de rotation appliqués dans les parcelles enquêtées puisqu'on a remarqué que ces agriculteurs introduisent des cultures céréalières ou maraîchères dans la rotation (Voir le tableau 14). Cependant, 32,35% des agriculteurs pratiquent la monoculture (Figure 50). Toutefois, la durée de la rotation est insuffisante pour prévenir l'apparition des nématodes à kystes de la pomme de terre ou les maîtriser dans le cas où les parcelles sont infestées. La jachère est une pratique culturale qui est utilisée pour le contrôle des nématodes à kystes de la pomme de terre. Cette pratique est utilisée seulement par 44,11% des agriculteurs enquêtés alors que 55,88% ne font pas recours à cette pratique (Figure 51). 61,76% des agriculteurs enquêtés pratiquent le labour d'été (Figure 52).



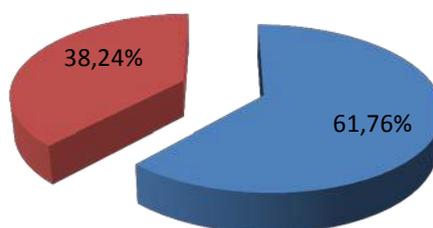
■ Monoculture ■ Polyculture

Figure 50 : Type de rotation dans les exploitations enquêtées



■ Jachère pratiquée
■ Jachère non pratiquée

Figure 51 : Pratique de la jachère dans les exploitations enquêtées



■ Labour d'été pratiqué
■ Labour d'été non pratiqué

Figure 52 : Pratique du labour d'été dans les exploitations agricoles enquêtées.

V.4.3.5.3. Désinfection du sol avant culture et en cours de culture par des nématicides ou des produits à effet nématicide

Les réponses des agriculteurs aux questions relatives à la désinfection du sol ont révélé que les agriculteurs ont tendance à désinfecter le sol avant la mise en place de la culture (58,82% des agriculteurs). Cependant, seulement 14,71% des agriculteurs désinfectent le sol en cours de culture (Figure 53). On a aussi enquêté sur les produits utilisés pour la désinfection afin de savoir si des nématicides ou des produits ayant un effet nématicide sont appliqués. Les réponses des agriculteurs ont révélé que la majorité des agriculteurs qui désinfectent le sol (60%) ne connaissent pas le produit utilisé (ni nom commercial ni matière active). Néanmoins, 35% des agriculteurs qui font recours à la désinfection du sol utilisent le Mocap (matière active : Oxamyl) et 5% utilisent le Némacur (matière active : Fenamiphos) (Figure 54).

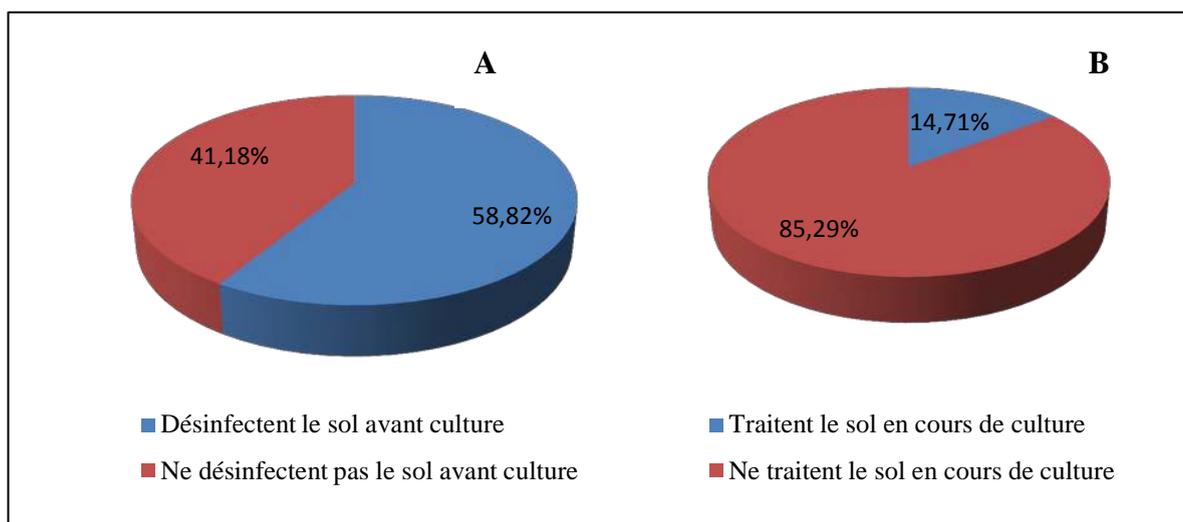


Figure 53: Désinfection du sol avant (A) au cours (B) de la culture.

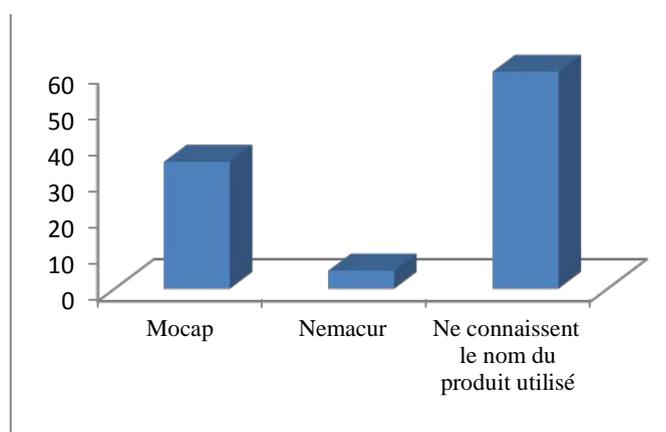


Figure 54 : Produits utilisés pour la désinfection du sol.

V.4.3.5.4. Autres traitements phytosanitaires

La majorité des agriculteurs enquêtés font recours à l'utilisation des produits phytosanitaires dans la lutte contre les ennemis des cultures, tels que les fongicides, les herbicides et les insecticides (Figure 55) qu'ils considèrent d'une importance primordiale dans l'entretien des cultures et l'obtention des rendements recherchés. Les produits utilisés sont présentés dans le tableau 15. Les insecticides sont utilisés pour lutter contre les pucerons, teignes ou mineuses. Les fongicides sont employés pour lutter surtout contre le mildiou et l'alternariose et les herbicides sont utilisés pour lutter contre les adventices comme les graminées annuelles ou les dicotylédones qui concurrencent la culture.

Chapitre V : Enquête sur les nématodes à kystes Globodera de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla

Tableau 15 : Produits phytosanitaires utilisés dans les exploitations agricoles enquêtées.

Insecticides		Fongicides		Herbicides	
Nom commercial	Matière active	Nom commercial	Matière active	Nom commercial	Matière active
ARRIVO	Cypermethrine	BRAVO 500	Chlorthalonil	SENCOR® 70WG	Métribuzine
MOSPILAN	Acétamipride	KOSENTO®	Fénamidone+Promamocarbe	REVIVO	Métribuzine
IMIDAPLOCRID 75WSP	Imidaplocrid	BLIN EXA5 SC	Hexaconazole		
FORCE	Tefluthrin	PREVICUR N	Promamocarbo HCL		
CONFIDOR 200 OD	Imidaplocrid (200g/l)	REVUS	Mamdipropamide		
KARATE K	Lambda Cyhalothrine (5g/l+Pirimicarbe100g/l)	EQUATION PRO	Cymoxanil (30%)+Famoxadone (22,5%)		
		STROBY WG	Krésoxim-méthyl		
		RIDOMIL Gold	64% Mancozeb+ 3,88% Metalaxyl-M		

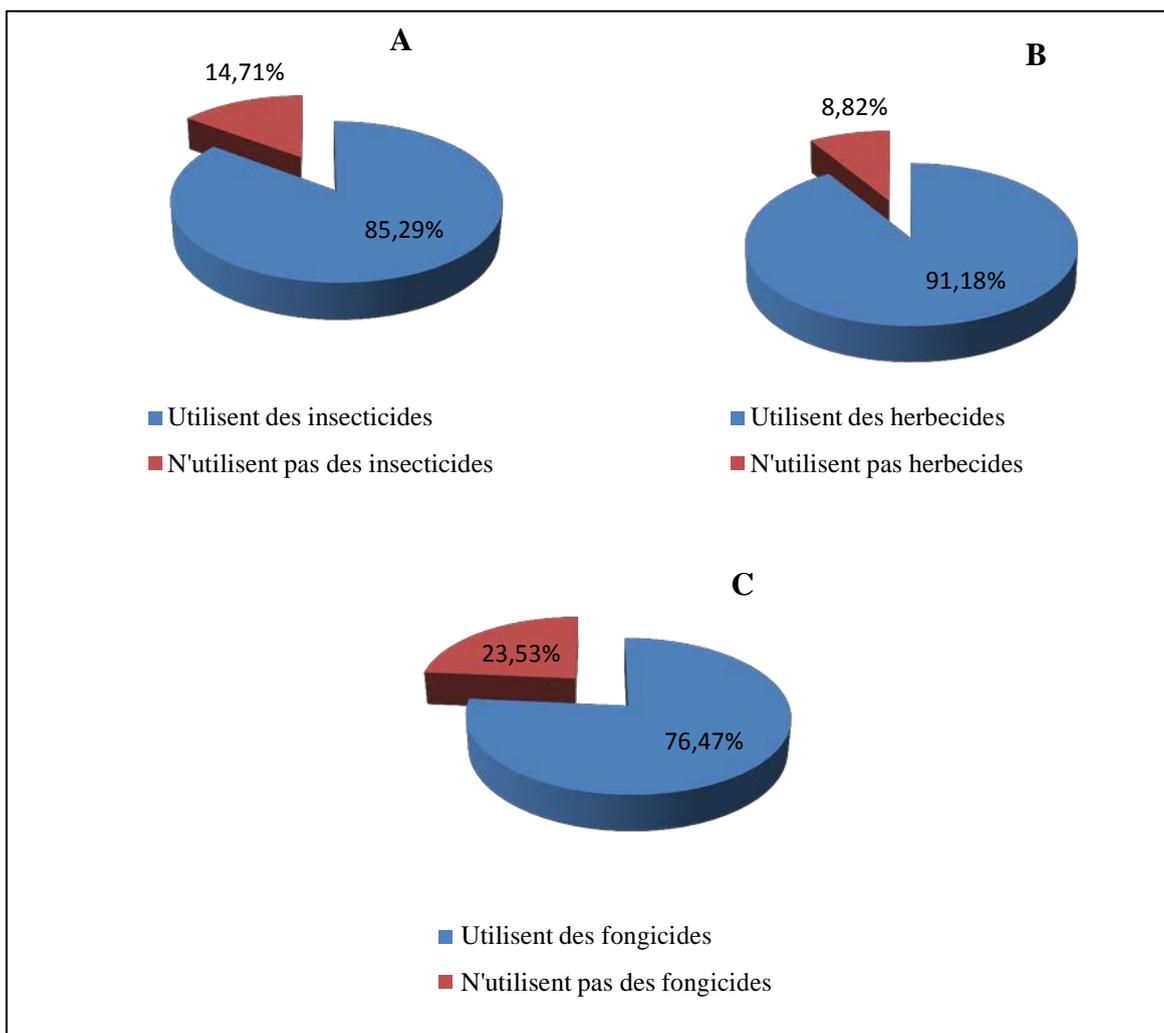


Figure 55 : Utilisation des traitements phytosanitaires insecticides (A), herbicides (B) et fongicides (C) dans les exploitations enquêtées.

V.5. Discussion et conclusion

L'enquête menée dans la wilaya d'Ain Defla, nous a permis de mettre en évidence un certain nombre de réalités concernant l'importance des informations disponibles dans la station régionale de l'INPV de Chlef sur l'état d'infestation des terres agricoles à vocation pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla par ces parasites et les mesures prises par les services de protection de végétaux de cette wilaya pour contrôler ces nématodes.

L'enquête effectuée au niveau de l'INPV de Chlef a révélé que les services agricoles de la wilaya d'Ain Defla accordent beaucoup d'intérêt pour le contrôle des parcelles destinées à la multiplication de semence et la lutte contre les ravageurs, particulièrement, les NKPT. Cet

organisme contribue par la réalisation des analyses nématologiques suite à une demande de l'Inspecteur de Protection de Végétaux de la Direction des Services Agricoles (DSA) qui s'occupe des opérations d'échantillonnage dans les exploitations concernées. L'enquête menée par Baloul (2010) a révélé que différents organismes interviennent à l'échelle Nationale pour ce contrôle à savoir le Centre National et de Certification de semences (CNCC), l'Inspecteur de Protection de Végétaux aux Directions des Services Agricoles (DSA), l'Institut National de Protection de végétaux (INPV), la Direction de la Protection de végétaux et du contrôle technique (DPVCT) et l'Etablissement Producteur de la Chambre d'Agriculture de la wilaya (CAW). Les multiplicateurs de semences sont liés par des contrats avec l'Etablissement Producteur de semences qui définit les techniques de multiplication strictes officialisées par le règlement du Ministère de l'Agriculture.

L'observation des résultats des analyses nématologiques réalisées par la SRPV de Chlef a révélé que les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre sont présents dans la wilaya d'Ain Defla. Les données qui nous ont été remises par ce service sont insuffisantes pour conclure sur l'importance de l'infestation, vu le manque d'informations pour quelques compagnes agricoles (particulièrement pour la culture d'arrière saison) mais aussi, parce que, peu d'échantillons sont analysés pendant certaines compagnes (31 échantillons en 2006-2007 pour la pomme de terre de saison) (Annexes 4) donc ils ne sont pas représentatifs de la situation au niveau de cette région en les comparant aux superficies destinées à la multiplication de semences. Néanmoins, les données disponibles indiquent que le degré d'infestation par ces parasites varie d'une compagne à une autre. Pour la pomme de terre de saison, la fréquence d'infestation la plus élevée est notée en 2006-2007 (41,94% des 31 échantillons analysés sont infestés) suivie de 2011-2012 (21,65% des 411 échantillons analysés sont infestés). Pour la pomme de terre d'arrière saison, les NKPT sont présents dans 39,45% des 109 échantillons du sol analysés lors de la compagne 2005-2006 alors que pour la compagne agricole suivante (2006-2007), les 105 échantillons de sol analysés se sont avérés tous indemnes de ces parasites.

L'analyse des tubercules de pomme de terre destinés à la multiplication de semences pendant deux compagnes agricoles pour la culture de saison et trois compagnes pour la pomme de terre d'arrière saison, a montré l'absence de ce parasite dans les tubercules. Comme le tubercule de pomme de terre est un moyen de dissémination de ces parasites, il serait indispensable de multiplier les observations et les examens au niveau des plants pour mieux se rassurer sur l'usage d'une semence saine.

En analysant les informations disponibles au niveau du service de la protection des végétaux, il s'avère que le travail au laboratoire se limite, tout simplement, à la mise en évidence ou non du nématode sans l'identification de la ou les espèces. Comme l'identification des espèces de ces nématodes est d'une importance cruciale pour le choix des mesures de lutte, on peut juger que les analyses réalisées au sein de la station sont insuffisantes. L'identification des espèces s'effectue au niveau du laboratoire de l'INPV d'El Harrach mais uniquement pour quelques échantillons en se basant seulement sur les critères morphologiques des kystes par le manque de moyens nécessaires pour l'utilisation des nouvelles techniques d'identification.

L'enquête menée auprès des exploitations agricoles dans différentes communes de la wilaya a montré que les causes majeures qui ont contribué à l'infestation par les *Globodera* spp. sont:

- **Le faible niveau de technicité des agriculteurs :** L'un des problèmes majeurs qui pourrait limiter le développement de la culture de pomme de terre est le niveau de technicité faible des agriculteurs, ce qui ne permet pas à ces derniers d'assurer un bon itinéraire technique de la culture (choix des variétés, des rotations, des dates de plantation et de récolte, techniques de labour, irrigation, fertilisation et protection phytosanitaire).
- **L'environnement des parcelles cultivées en pomme de terre pourrait contribuer à la dissémination de ces parasites en cas d'infestation :** En effet, la pomme de terre se conduit sur de grandes surfaces où les parcelles sont situées l'une à côté de l'autre, souvent, sans aucune bordure, ce qui facilite la dissémination de ces parasites en cas de l'infestation de l'une de ces parcelles aussi bien entre les champs d'une même exploitation qu'entre exploitations différentes. Les moyens de dissémination peuvent être naturels par le vent, les eaux de pluies ou le déplacement des animaux (Lehman, 1994 ; EFSA, 2012 ; Cronin et *al.*, 1997) ou par les activités humaines (Plantard et *al.*, 2008). L'homme peut contribuer à cette désamination soit en se déplaçant entre les champs ou bien via les pratiques culturales comme l'irrigation ou par l'utilisation des machines agricoles contaminées dans plusieurs champs. Plusieurs études ont mis en évidence que la terre adhérant aux machines dans les zones infestées constitue l'une des principales sources de contamination par les kystes (*Globodera* spp.) (Brodie 1993 ; Olsson, 2009).
- **Type du sol :** Les sols cultivés en pomme de terre dans les exploitations enquêtées sont généralement légers, bien aérés et poreux. Donc, ils favorisent le développement de ces nématodes.

- **Le mode de conduite de la culture de la pomme de terre dans cette région** : les pratiques culturales appliquées par les agriculteurs (type de rotation, variétés cultivées, type d'irrigation....) contribuent considérablement au développement et à la dissémination des populations de ces nématodes.
 - La monoculture qui est pratiquée dans un nombre considérable des exploitations est un facteur qui augmente le risque de pullulation des populations de ces ravageurs.
 - Il est vraisemblable que les rotations courtes, répétées pendant plusieurs années dans les zones de culture de pomme de terre vont conduire au fil du temps les populations de ces nématodes à kystes à s'accroître jusqu'à devenir détectables voir incontrôlables.
 - Le choix des variétés n'est pas judicieux. En effet, la variété Spunta, qui est sensible à ces parasites (Greco et *al.*, 2007), est la plus cultivée dans l'ensemble des exploitations et parfois, elle se répète pendant plusieurs années.
 - Le mode d'irrigation par aspersion appliqué dans l'ensemble des exploitations, favorise aussi le développement de ces nématodes (Hlaoua et *al.*, 2010).
 - Les pratiques culturales contribuant à contrôler ces nématodes tels que le labour profond, le labour d'été et la jachère sont présentes dans quelques exploitations, cependant dans plusieurs exploitations ces pratiques sont absentes. D'après Greco (1988), le déclin annuel d'une population de NKPT est de 20 à 60% en absence de la plante hôte ou en jachère. En discutant avec les agriculteurs, on a remarqué que pour des raisons économiques, ils sont insensibles aux actions de sensibilisation sur l'importance d'introduire dans leur système de production des mesures de lutte adéquates pour maîtriser ces nématodes tel que les longues rotations et les jachères.
 - Dans la majorité des exploitations, la fertilisation organique n'est pas utilisée. Beaucoup d'études ont confirmé que les amendements organiques ont des effets répressifs sur le développement des nématodes phytoparasites y compris les nématodes à kystes (Akhtar et Alam, 1991 ; Renčo et *al.*, 2007, 2010, 2011, 2012 ; D'Addabbo et *al.*, 2009, 2011 ; Hu et Qi, 2010).
 - Le partage de l'équipement agricole entre les agriculteurs est un facteur qui joue un rôle dans la dissémination de ces parasites sachant que les mesures d'hygiène (nettoyage du matériel) sont rarement respectées dans les exploitations agricoles.
 - Concernant l'utilisation des produits phytosanitaires, nous avons remarqué que dans 58, 52% des agriculteurs font recours à la désinfection du sol avant la mise en place de la culture. Cependant, la majorité des agriculteurs ne connaissent pas le produit qu'ils

utilisent. Néanmoins, peu d'agriculteurs utilisent des nématicides (35% utilisent le Mocap et 5% utilisent Némacur). Quant aux autres pesticides utilisés (fongicides, Herbicides et insecticides) nous avons effectué une recherche sur un éventuel effet nématicide de leurs matières actives mais il n'y a pas des publications qui ont indiqué un tel effet sauf le fongicide Ridomil (Metalaxyl) qui d'après sa fiche technique présente aussi une action nématicide. L'utilisation des nématicides pourrait contribuer à réduire les densités de ces parasites mais vu les problèmes environnementaux et toxicologiques qu'ils puissent engendrer, leur emploi doit être minimisé et remplacé par des méthodes alternatives.

- **L'absence ou l'inefficacité de la vulgarisation agricole sur ces parasites dans cette région :** La majorité des agriculteurs enquêtés ne connaissent pas ces parasites et leurs symptômes ou parfois ils les confondent avec d'autres parasites. De même, ils ne sont pas conscients de leur importance économique et de la sévérité des dégâts qu'ils puissent causer sur la culture de pomme de terre. Un certain pourcentage d'agriculteurs connaît bien que les analyses réalisées sur les parcelles destinées à la multiplication de semences concernent ces nématodes et malgré ça, ils ont peu de connaissances sur ces parasites. Ceci pourrait s'expliquer par l'inefficacité et le manque de performance des services de vulgarisation et de conseil agricole. Les recherches dans les pays du tiers monde ont, en général, montré que l'efficacité du travail des vulgarisateurs est faible, d'abord parce qu'ils ont une formation insuffisante (Swanson, 2003). Cependant, la faiblesse de la formation des agriculteurs pourrait aussi influencer de façon négative leur compréhension et parfois leurs attitudes vis-à-vis des services de vulgarisation. Selon Bédrani (1993), l'efficacité de la vulgarisation dépend d'abord du degré de formation (générale et technique) et d'information des agriculteurs. L'apprentissage d'un savoir-faire ou d'une technique est d'autant plus rapide (et donc moins coûteux) que celui auquel il s'adresse est préparé à le recevoir par ses connaissances générales et particulières.

Malgré les efforts fournis par les services de protection de végétaux de cette wilaya DSA et SRPV de Chlef pour contrôler ces parasites, il reste beaucoup à faire quant à la collaboration entre ces services, les agriculteurs et les chercheurs dans toutes les démarches entreprises pour prévenir l'introduction de ces parasites et pour limiter leur développement s'ils sont déjà installés. Ainsi, il serait judicieux d'intervenir à trois niveaux :

En premier lieu, l'agriculteur doit comprendre qu'il est l'élément le plus important dans le processus de production mais aussi dans la sauvegarde de son milieu : Il doit comprendre qu'un parasite de quarantaine tel les nématodes à kystes de la pomme de terre peut causer de lourdes pertes de production, donc, il doit respecter toutes les mesures d'hygiène au sein de son exploitation et adopter un mode de conduite de culture adéquat qui limite le développement de ces parasites en accordant plus d'importance aux méthodes alternatives au pesticides (rotations, variétés résistantes...). Il doit aussi améliorer son niveau de technicité en s'approchant des établissements de formation agricole.

En second lieu, au niveau du Ministère de l'agriculture et des services agricoles de la wilaya DSA, INPV, Ils doivent prendre les mesures suivantes :

- Création des établissements d'enseignement professionnel agricole auxquels les agriculteurs auront accès et organisation de formations périodiques des agriculteurs, selon les besoins spécifiques de terrain en prenant en considération leur niveau (de scolarisation) ou tout autre paramètre pouvant influencer leur degré de compréhension. Ces formations vont fournir aux agriculteurs les connaissances techniques et les informations pouvant améliorer leurs conditions de travail et leur production.
- Organisation de formations et recyclages pour les techniciens et Ingénieurs responsables de la réalisation des analyses nématologiques pour acquérir plus de compétences sur les méthodes d'échantillonnage et les techniques d'identification de ces parasites.
- Amélioration de la performance des services de vulgarisation et du conseil : prendre en charge les soucis des vulgarisateurs en leur assurant des cours permanents en méthodologie de communication et des recyclages selon les besoins de terrain et mettre à leur disposition tous les moyens nécessaires pour accomplir leur mission. En cas des NKPT, les agents responsables de la vulgarisation doivent acquérir toutes les informations sur leur morphologie, symptômes, dégâts et les mesures qui doivent être entreprises pour prévenir et lutter contre ces parasites mais surtout le plus important est de savoir les communiquer aux agriculteurs.
- Renforcer les réseaux de surveillance sur le plan national et régional par la création de dispositifs qui auront pour mission d'intensifier les enquêtes sur ces parasites, examiner toutes les voies d'introduction possibles afin de prévenir, contrôler, contenir et gérer les infestations et assurer une bonne coordination entre les organismes déjà existants (CNCC, DSA, INPV, DPVCT et CAW).

En troisième lieu, il faut renforcer les relations entre l'Université et les Instituts de Recherche Scientifique avec les structures agricoles et l'agriculteur afin de valoriser les résultats de la recherche et partager le savoir-faire avec les agriculteurs. L'information sur les nouvelles mesures de lutte contre ces bio-agresseurs (en termes de sélection de variétés résistantes et de modèles de rotation adéquats ou toute autre méthode alternative ...) doit être diffusée pour faire partie intégrante dans les programmes de lutte contre ces nématodes. La coordination entre ces partenaires peut être mise en place par la création de conventions afin de prendre en charge les préoccupations des différentes parties.

Chapitre VI

**Identification morphologique des
espèces de quelques populations de
nématodes à kystes de la pomme de
terre de la de la région d'Ain Defla**

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VI.1. Objectifs

Les principaux objectifs de cette partie de travail sont :

- L'identification des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre d'origine d'Ain Defla.
- Comparer ces populations algériennes avec des populations ayant d'autres origines.
- Tenter d'expliquer la présence des espèces identifiées afin de contribuer à l'établissement de mesures de lutte.

VI.2. Matériel et méthodes

L'identification des espèces de *Globodera* est faite conformément à l'EPPO (OEPP) protocoles diagnostiques PM 7/40(2) (OEPP/EPPO, 2009) et PM 7/40 (3) (OEPP/EPPO, 2013). Des clés de détermination récentes ont été aussi utilisées (Golden, 1986 ; Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991). La détermination est basée sur la combinaison des caractéristiques morphologiques et morphométriques des kystes et des larves de deuxième stade (J2).

VI.2.1. Populations de *Globodera* étudiées

Seize populations de *Globodera* sont étudiées. Ces dernières sont collectées de cinq localités de la wilaya d'Ain Defla (El Amra, Rouina, Arib, Ain Defla et Mekhatria) (tableau 16).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Tableau 16: Code et origine des populations de *Globodera* utilisées et information, sur les sites où sont collectées ces populations (plante hôte, variétés utilisées et précédant culturaux).

Code	Origine	Plante hôte/variété utilisée	Précédent cultural
ADG1	Ain Defla	Pomme de terre (Spunta)	Pomme de terre
A DG2	Ain Defla	Pomme de terre (Bartina)	Pomme de terre
ADG3	Ain Defla	Pomme de terre (Spunta)	Pomme de terre
ADG4	Ain Defla	Pomme de terre (Spunta)	Pomme de terre
ADG5*	Ain Defla	Pomme de terre (Spunta)	Céréales
ADG6*	Ain Defla	Pomme de terre (Spunta)	Céréales
EAG1	El Amra	Pomme de terre (Spunta)	Pomme de terre
EAG2	El Amra	Pomme de terre (Spunta)	Céréales
EAG3	El Amra	Pomme de terre (Spunta)	Céréales
EAG4	El Amra	Pomme de terre (Spunta)	Céréales
RG1	Rouina	Pomme de terre (Spunta)	Pomme de terre
RG2	Rouina	Pomme de terre (Spunta)	Céréales
RG3	Rouina	Pomme de terre (Spunta)	Pastèque
RG4	Rouina	Pomme de terre (Spunta)	Céréales (blé)
MEG	Mekhatria	Pomme de terre (Spunta)	Céréales (blé)
ARG	Arib	Pomme de terre (Spunta)	Céréales

* Les populations ADG5 et ADG6 d'Ain Defla, nous ont été remises par la SRPV de Chlef (toutes les populations sont collectées lors de nos prospections).

VI.2.2. Etude biométrique des kystes

Les kystes sont mis sur un coussinet d'agar mis sur une lame, ensuite, les mesures de la longueur, la largeur ainsi que la longueur du cou sont prises sous un microscope optique muni d'un micromètre (Figure 56). L'étude biométrique est réalisée sur un nombre égal de kystes pleins (30 kystes sauf pour la population ADG6 d'Ain Defla pour laquelle 21 kystes sont mesurés).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.



Figure 56 : Les mensurations effectuées sur les kystes des différentes populations (Original).

VI.2.3. Identification par examen de la région périnéale

VI.2.3.1. Préparation des kystes et réalisation des coupes

Pour identifier les espèces de *Globodera* présentes dans les parcelles prospectées, nous avons examiné les régions périnéales des kystes collectés (20 kystes sont pris en considération pour chaque population). Ces derniers sont fixés dans une goutte contenant 40% d'acide lactique 30% glycérol et 30% d'eau distillée (Hooper, 1970) contenue dans un ver de montre, ensuite, ils sont transférés sur une lame creuse sur laquelle une goutte de la solution citée précédemment est déposée. La réalisation des coupes se fait sur la même lame, on coupe le kyste transversalement en deux parties à l'aide d'un bistouri puis on nettoie la partie postérieure de son contenu (œufs et larves) dans la solution et on coupe les extrémités latérales au fur et à mesure jusqu'à l'obtention d'une coupe de forme rectangulaire contenant la zone périnéale.

VI.2.3.2. Montage

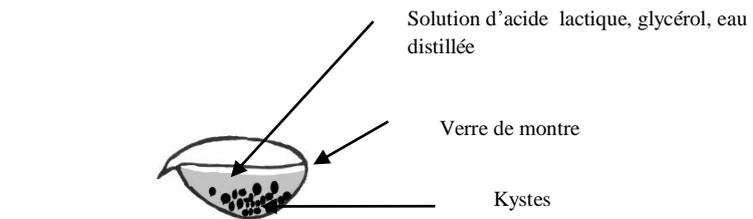
Le montage se fait dans la glycérine : On dépose un anneau de paraffine sur la lame ensuite on dépose les coupes réalisées sur les kystes au centre de cet anneau, dans une goutte de glycérine. Après dépôt de la lamelle, la lame est chauffée sur une plaque chauffante, la paraffine fond, se répartit autour de la glycérine et maintient la lame et la lamelle.

Toutes les étapes suivies pour la réalisation des coupes sont présentées dans la figure 57.

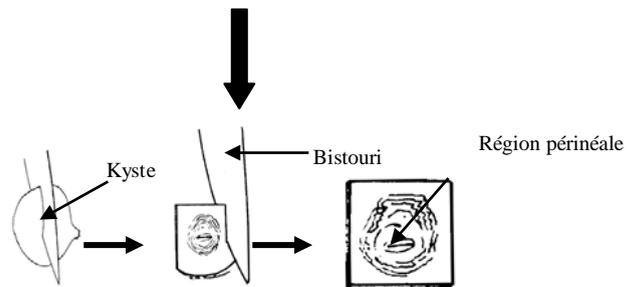
VI.2.3.3. Critères pris en considération

Les critères retenus pour la détermination des espèces de *Globodera* à partir des zones périnéales sont : le nombre des stries sur l'axe anus-vulve, la distance entre l'anus et la vulve, le diamètre de la fenêtre vulvaire, le rapport de Granek (distance vulve anus / diamètre de la fenêtre vulvaire) (Fleming et Power, 1998 ; OEPP/EPPO, 2004, 2009). Les mesures sont effectuées en utilisant une chambre claire (Camera Lucida).

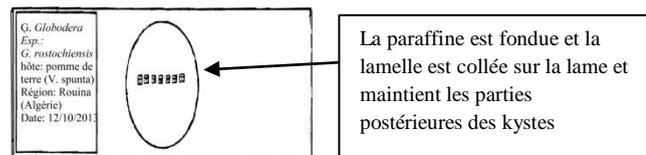
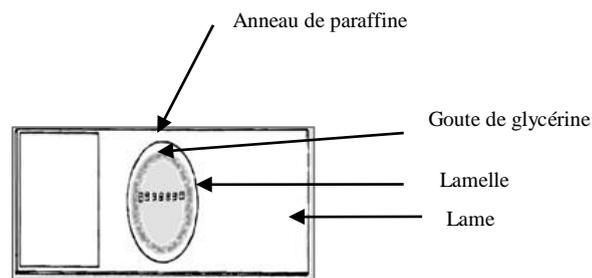
Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.



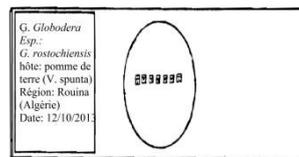
a. Nettoyage et fixation des kystes



b. Réalisation des coupes



b. Montage des coupes



c. Observation microscopique

Figure 57 : Technique de montage de la région périnéale pour la détermination des espèces de *Globodera* (Original).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VI.2.4. Identification des juvéniles

L'identification des espèces de nématodes à kystes *Globodera* se base sur la combinaison des caractères des régions périnéales et ceux des juvéniles de deuxième stade, ainsi, des larves provenant des mêmes kystes utilisés pour l'identification de la région périnéale sont aussi identifiés.

Les mesures de la longueur du stylet et les observations de leurs boutons basaux (qui sont les caractères les plus importants pour l'identification des espèces du genre *Globodera*) sont effectuées sur des juvéniles frais déposés sur un coussinet d'agar mis sur une lame et couverts par une lamelle, puis observés sous un microscope optique. D'autres mensurations, qui sont généralement utilisées pour la caractérisation des nématodes, sont aussi prises en considération. Il s'agit de la longueur du corps, la largeur du corps, la largeur du corps au niveau de l'anus, la longueur de la queue, la longueur de la partie hyaline de la queue ainsi que les rapports a (longueur du corps/largeur maximale du corps), c (Longueur du corps/longueur de la queue) et c' (longueur de la queue/largeur du corps au niveau de l'anus) (Figure 58) (Golden, 1986 ; Siddiqi, 2000 ; OEPP/EPPO, 2004). Pour prendre ces mesures, les larves collectées sont tuées sous une faible flamme puis transférées dans une solution F.A. 4 : 1 et montées dans une goutte de glycérol (Hooper, 1970) (voir le protocole de fixation en annexe 11).

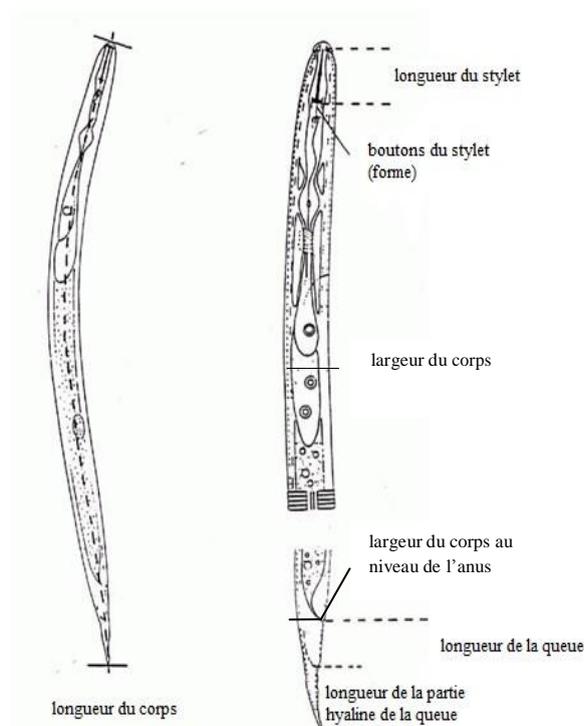


Figure 58 : Mensurations nécessaires pour l'identification morphologique des juvéniles de *Globodera*.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VI.2.5. Analyse statistique

Les analyses statistiques sont effectuées en utilisant le logiciel STATISTICA (version 6.1). Une analyse de la variance ANOVA a été appliquée pour estimer la signifiante des variations notées pour les caractères morphologiques entre les populations étudiées. Les variables étudiées pour les kystes et les juvéniles sont soumises à une analyse en composante principale (ACP). C'est une méthode d'analyse des données multivariée qui cherche à identifier les axes principaux qui expliquent le mieux les corrélations entre les variables descriptives.

Afin de mettre en évidence la corrélation qui existe entre ces populations, nous avons aussi effectué une classification hiérarchique ascendante en se basant sur deux caractères des kystes (le rapport de Granek et le nombre de stries sur l'axe anus-vulve) et un caractère des juvéniles (longueur du stylet). Ces caractères sont les plus recommandés par OEPP/EPPO (2009) pour l'identification des espèces de *Globodera*.

VI.3. Résultats

VI.3.1. Identification des populations de *Globodera*

Les seize populations de NKPT collectées de cinq localités d'Ain Defla, ont été identifiées (tableau 17) en combinant les caractères de la région périnéale et ceux des juvéniles de deuxième stade. Les résultats montrent la présence des deux espèces *G. pallida* et *G. rostochiensis* séparément ou en populations mixtes dans les cinq régions. A Ain Defla, 4 des 6 populations collectées soit 66,66% ont été identifiées comme *G. pallida* et 33,34% (2 populations) sont des populations mixtes. 25% des populations d'El Amra sont *G. pallida* et 75% sont constituées d'un mélange des deux espèces *G. pallida* et *G. rostochiensis*. Dans la région de Rouina, 50% des populations étudiées étaient *G. rostochiensis* et 50% étaient des populations mixtes. Les deux populations d'Arib et Mekhatria sont constituées d'un mélange des deux espèces.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Tableau 17: Identification morphologique des seize populations de *Globodera* collectées à Ain Defla.

	<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. pallida</i>	Population mixte (<i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i>)
Ain Defla	-	ADG1, ADG2 ADG3, ADG4	ADG5, ADG6
El Amra	-	EAG2	EAG1, EAG3, EAG4
Rouina	RG2, RG3	-	RG1, RG4
Mekhatria	-	-	MEG
Arib	-	-	ARG

VI.3.2. Fréquence des populations pures et des populations mixtes dans les échantillons identifiés

Seize populations de *Globodera* appartenant à cinq communes étaient soumises à une caractérisation morphologique. Neuf se sont avérées des populations mixtes (puisqu'elles étaient constituées d'un mélange des deux espèces (*G. pallida* et *G. rostochiensis*), ce qui correspond à une fréquence de 56,25 %. Sept populations étaient des populations pures constituées d'une seule espèce soit *G. pallida* ou *G. rostochiensis*. Parmi les sept populations pures, cinq étaient identifiées comme des *G. pallida* avec une fréquence de 31,50% et seulement deux populations identifiées comme des *G. rostochiensis* soit une fréquence de 12,25% (Figure 59).

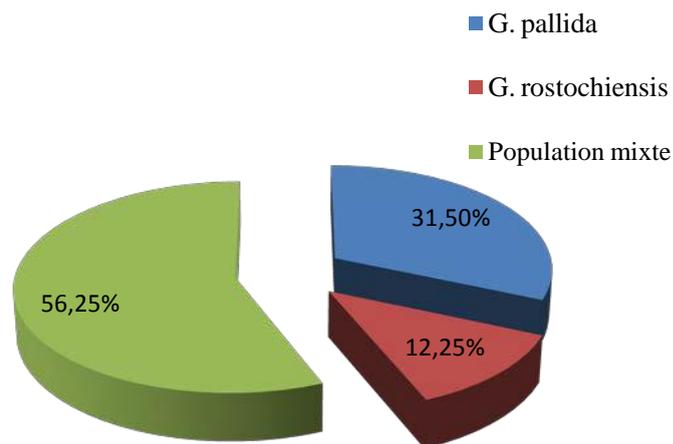


Figure 59 : fréquence des populations pures (*G. pallida* ou *G. rostochiensis*) et de populations mixtes.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VI.3.3. Biométrie des kystes

Les résultats relatifs aux caractères morphométriques des kystes des seize populations étudiées sont présentés dans le tableau 18 et la figure 60.

Tableau 18: Mensurations des kystes de *Globodera* d'origine d'Ain Defla, Algérie. Toutes les mesures sont en μm et présentées en moyenne \pm écart type, maxima et minima entre parenthèses (n=30).

Population code	Longueur du corps sans le cou	Larger du corps	Longueur du cou
ADG1	566,25 \pm 56,08 (450-675)	556,5 \pm 70,08 (427,5-652,5)	84,38 \pm 33 (22,5-168,75)
ADG2	536,4 \pm 67,9 (382,5-652,5)	532,58 \pm 83,2 (405-720)	90,4 \pm 32 (33,8-168,8)
ADG3	580,3 \pm 54,5 (472,5-742,5)	569,7 \pm 61,29 (450-765)	85,4 \pm 28,7 (45-135)
ADG4	588,6 \pm 58,3 (472,5-720)	576,3 \pm 60,91 (429,75-697,5)	86,8 \pm 30,5 (33,8-157,5)
ADG5	509,44 \pm 72,97 (378,7- 637,8)	487,38 \pm 69,09 (356,7-660,4)	103,99 \pm 29,76 (54,7-180,3)
ADG6*	516,4 \pm 77,36 (373,7-697,3)	502,12 \pm 101,31 (298,2-721,4)	90,46 \pm 42,77 (31,3-157,6)
EAG1	565 \pm 79,7 (405-697,5)	555,15 \pm 97,48 (360-697,5)	112,1 \pm 23,1 (67,5-157,5)
EAG2	532,1 \pm 72,7 (405-652,5)	517,95 \pm 78,8 (360-652,5)	100,7 \pm 35,3 (45-180)
EAG3	608,9 \pm 59,1 (461,3-742,5)	599,63 \pm 69,94 (472,50-843,75)	85,6 \pm 28,4 (45,0-157,5)
EAG4	513,11 \pm 94,56 (360,8-692,2)	492,85 \pm 109,09 (325,9-689,9)	91,38 \pm 35,77 (39,2-195,2)
RG1	578,1 \pm 69,1 (427,5-697,5)	555,3 \pm 68,68 (405-720)	103,2 \pm 37,7 (45-195,8)
RG2	590,3 \pm 76,6 (427,5-742,5)	568,88 \pm 80,51 (405-697,5)	70,2 \pm 25,2 (33,8-135)
RG3	559,92 \pm 71,66 (391-693)	542,05 \pm 88,38 (390,5-697,9)	100,87 \pm 35,61 (31,3-157,6)
RG4	536 \pm 67,6 (396,8-677,9)	511,31 \pm 77,03 (340,2-653,7)	89,8 \pm 30,5 (36,2-185,3)
MEG	555,9 \pm 87,3 (405-742,5)	537,45 \pm 79,13 (360-697,5)	97,2 \pm 31,6 (45-180)
ARG	514,9 \pm 90,3 (323,5-740,4)	487,17 \pm 85,81 (336,5-660,4)	105,2 \pm 26,2 (56,7-167)

*: n=21

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

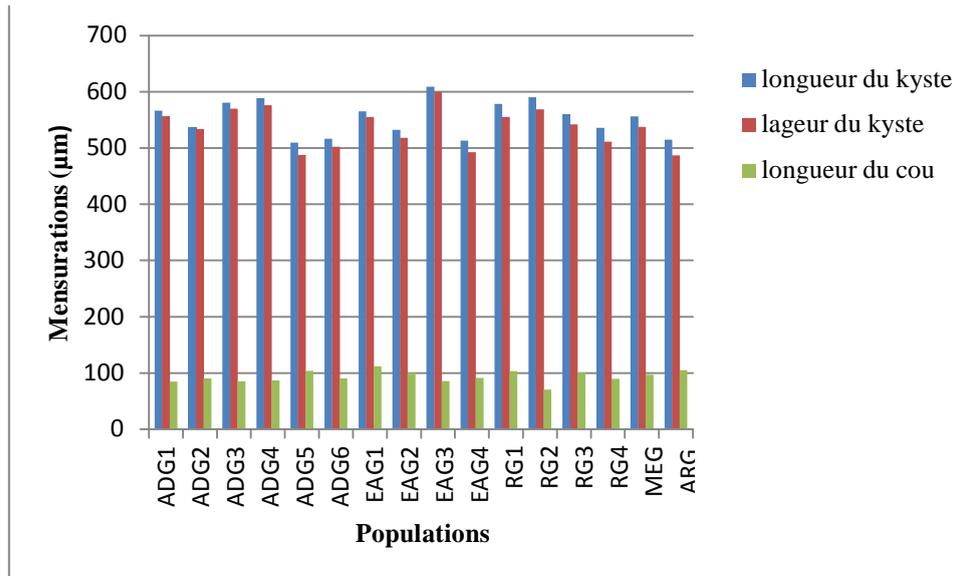


Figure 60 : Mensurations des longueurs, largeurs et longueurs du cou des seize populations étudiées (origine des populations : voir tableau 16).

L'étude biométrique réalisée sur 30 kystes de chaque population de NKPT a révélé l'existence d'une grande variabilité de la taille des kystes appartenant aux différentes populations (tableau 18 et la figure 60) voir même au sein de la même population (Figure 61). En effet, l'observation des résultats relatifs à la longueur et à la largeur montrent que les kystes les plus grands de taille sont ceux de la population EAG3 collectés à El Amra (longueur= $608,9 \pm 59,1$ µm et largeur= $599,63 \pm 69,94$ µm) suivis de ceux de RG2 collectés à Rouina (longueur= $590,3 \pm 76,6$ et largeur $568,88$ µm) et ceux qui présentent la taille la plus réduite sont ceux de ADG5 d'Ain Defla (longueur= $509,44 \pm 72,97$ µm et largeur= $487,38 \pm 69,09$ µm). La variabilité est aussi importante pour la longueur du cou, la population EAG1 d'El Amra montre la moyenne la plus élevée ($112,1 \pm 23,1$ µm) et la population RG2 de Rouina présente la moyenne la plus faible ($70,2 \pm 25,2$ µm).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.



Figure 61 : Kystes de *Globodera* présentant différentes tailles (variabilité des longueurs, largeurs et longueurs du cou) (Original).

- **Analyse de la variance**

Toutes les variables considérées, longueur, largeur et longueur du cou (du kyste) montrent des différences très hautement significatives ($p < 0,0005$) en fonction des populations étudiées (tableau 19).

Tableau 19: Analyse de la variance au seuil de 5% pour l'effet des variables liées à la biométrie des kystes de *Globodera* en fonction des différentes populations.

Variable	Analyse de la Variance (Feuille)							
	Effets significatifs marqués à $p < ,05000$							
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	p
Longueur du kyste	431992,1	15	28799,47	2429660	455	5339,911	5,393249	0,000000
Largeur du kyste	522086,8	15	34805,79	2964505	455	6515,396	5,342083	0,000000
Longueur du cou	49256,2	15	3283,75	458874	455	1008,513	3,256027	0,000036

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

- **Classification hiérarchique des variables liées aux kystes**

Sur la base des données relatives aux mensurations des kystes des populations de NKPT étudiées, et afin de montrer la corrélation entre les variables étudiées, nous avons procédé à une classification hiérarchique (figure 62). Les distances d'agrégation calculées montrent que les variables sont réparties en deux groupes, le premier est formé par « la longueur du kyste » et la « largeur du kyste ». Ces deux variables sont liées parce que les kystes ont une forme arrondie ou globulaire. Le second groupe, formé indépendamment du premier, est constitué par la longueur du cou.

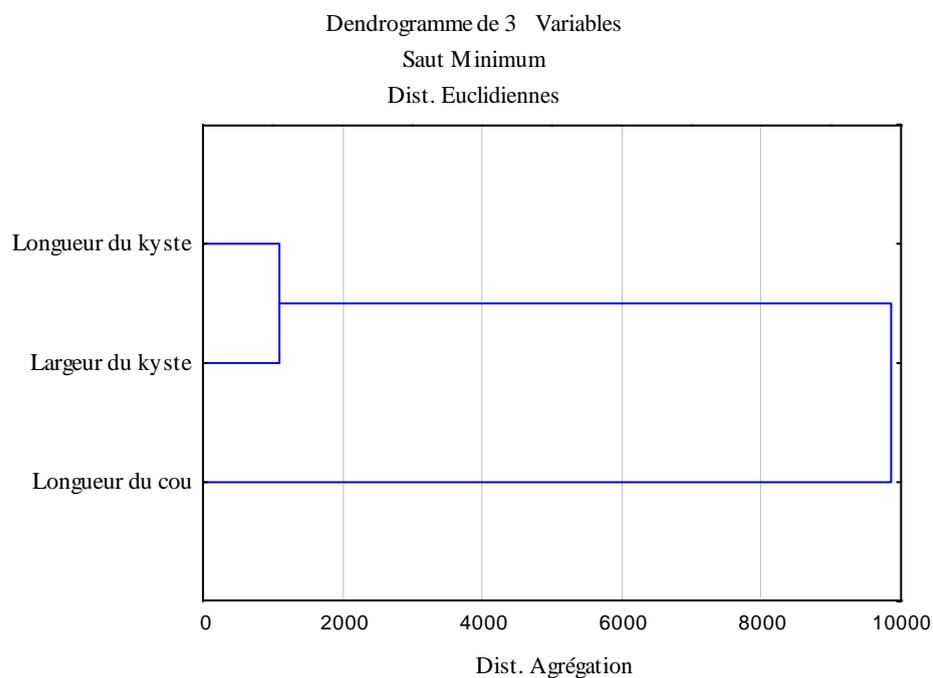


Figure 62: Classification hiérarchique des variables caractérisant les kystes des populations étudiées.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VI.3.4. Région périnéale des kystes

Les résultats des mensurations effectuées au niveau des régions périnéales de 20 kystes de chaque population étudiée sont consignés dans le tableau 20 et illustrés par la figure 63.

Tableau 20 : Mensurations des kystes de différentes populations de *Globodera* d'origine d'Ain Defla, Algérie. Toutes les mesures sont en μm (sauf pour le rapport de Granek), présentées en moyenne \pm écart type avec maxima et minima entre parenthèses (n=20).

Code	Distance (anus-vulva)	Longueur de la fenêtre	Nombre des stries entre l'anus et la vulve	Rapport de Granek	Identification
ADG1	50,65 \pm 6,21 (38,7-60,7)	24,75 \pm 4,16 (19,4-34,6)	12,45 \pm 1,99 (9-16)	2,09 \pm 0,37 (1,47-2,84)	<i>G. pallida</i>
ADG2	55,95 \pm 8,9 (41,6-72,2)	26,64 \pm 5,1 (16,8-37,9)	12,15 \pm 2,6 (8-17)	2,16 \pm 0,45 (1,52-3,09)	<i>G. pallida</i>
ADG3	58,54 \pm 13 (37,1-88,9)	25,76 \pm 5,49 (19,2- 43,6)	12,3 \pm 2,62 (9-16)	2,31 \pm 0,5 (1,53-3,3)	<i>G. pallida</i>
ADG4	64,7 \pm 11,99 (43,8-84,3)	27,12 \pm 6,1 (13,7-37,2)	13,35 \pm 2,72 (9-19)	2,46 \pm 0,53 (1,79-3,55)	<i>G. pallida</i>
ADG5	58,88 \pm 16,68 (29,9-92,95)	25,00 \pm 5,82 (16,45-37,7)	13,65 \pm 4,22 (7-23)	2,42 \pm 0,68 (1,27-3,61)	Population mixte
ADG6	68,34 \pm 29,61 (32-158,73)	21,12 \pm 4,1 (16,2-31)	16,3 \pm 7,02 (7-33)	3,22 \pm 1,12 (1,7-5,55)	Population mixte
EAG1	57,26 \pm 19,14 (36,3-104,5)	21,35 \pm 4,31 (14,8-28,5)	13,2 \pm 3,96 (8-24)	2,7 \pm 0,74 (1,54-4,67)	Population mixte
EAG2	56,94 \pm 16,9 (28,1-89)	21,28 \pm 3,76 (13-28,2)	13,45 \pm 2,82 (8-18)	2,68 \pm 0,65 (1,41-3,61)	<i>G. pallida</i>
EAG3	61,94 \pm 16,48 (34,32-117,4)	23,76 \pm 4,52 (17,8-32,89)	15,55 \pm 3,56 (8-25)	2,68 \pm 0,77 (1,55-3,88)	Population mixte
EAG4	59,2 \pm 14,63 (37,18-87,23)	24,7 \pm 5,41 (17,16-35,75)	14,15 \pm 4,2 (7-24)	2,46 \pm 0,64 (1,48-3,75)	Population mixte
RG1	78,53 \pm 18,81 (55,77-112,7)	21,2 \pm 5,31 (14,7-35,75)	18,65 \pm 2,56 (16-25)	3,8 \pm 0,85 (2,17-5,93)	Population mixte
RG2	75,47 \pm 20,36 (48,1-116,8)	19,22 \pm 4,04 (13,4-27,3)	19,3-3,47 (16-26)	4,06 \pm 1,35 (2,39-7,94)	<i>G. rostochiensis</i>
RG3	78,24 \pm 19,8 (47,19 \pm 110,6)	20,63 \pm 5,54 (14,1-35,75)	20,4 \pm 4,15 (16-29)	3,96 \pm 1,28 (2,53-6,75)	<i>G. rostochiensis</i>
RG4	77,77 \pm 20,13 (47,2-118,2)	22,23 \pm 5,32 (14,5-37,18)	18,1 \pm 4,62 (10-29)	3,61 \pm 0,94 (1,5-5,38)	Population mixte
MEG	71,06 \pm 23,63 (32,18-114,5)	23,21 \pm 5,85 (14,4-35)	15,9 \pm 4,44 (8-25)	3,10 \pm 0,87 (1,96-5,47)	Population mixte
ARG	58,15 \pm 22,96 (24,31-128,7)	22,09 \pm 6,69 (15,8-35,75)	14,61 \pm 4,82 (7-27)	2,83 \pm 1,18 (1,26-6)	Population mixte

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

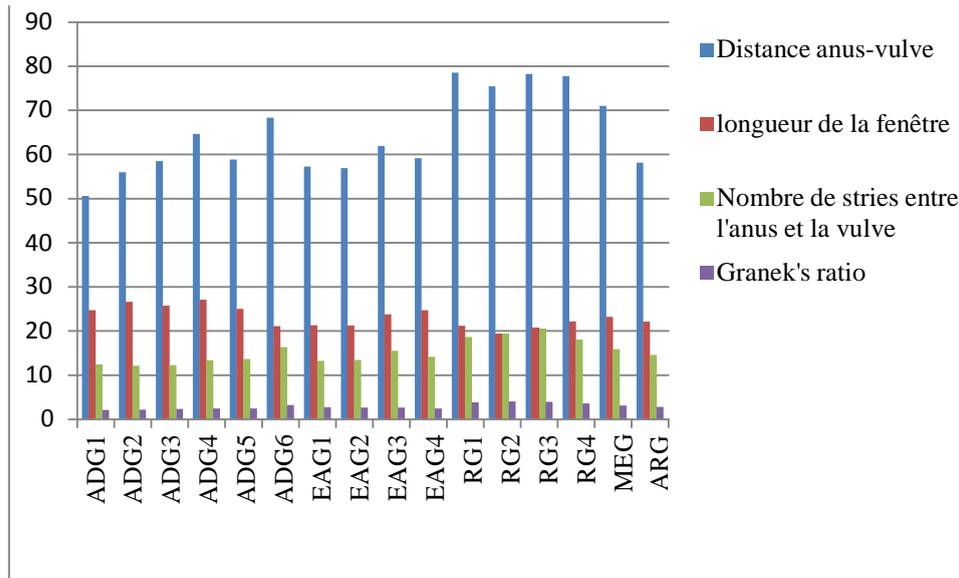


Figure 63 : Comparaison de la moyenne des mensurations effectuées sur les régions périnéales des kystes des différentes populations.

L'analyse des caractères morphologiques de la région périnéale des kystes (tableau 20 et figure 63) a révélé des différences claires entre les différentes populations, surtout entre les populations pures de *G. rostochiensis* RG2, RG3 et celles de *G. pallida* (ADG1, ADG2, ADG3, ADG4, EAG2).

Les populations RG2 et RG3 ont les valeurs les plus élevées de la distance anus-vulve, nombre de stries et le rapport de Granek (Granek's ratio). Ces valeurs correspondent à la description de *G. rostochiensis*. Quant aux populations d'Ain Defla ADG1, ADG2, ADG3, ADG4 et celle d'El Amra EAG2, les moyennes et les valeurs minimales et maximales de ces caractères concordent avec ceux de *G. pallida*. Les moyennes des rapports de Granek et des nombres de stries entre l'anus et la vulve des populations ADG5 (collectée à Ain Defla), EAG1, EAG4 (d'origine d'El Amra) et ARG (collectée à Arib) sont plus proches de *G. pallida* mais l'observation des valeurs maximales de ces deux caractères concordent avec celles de *G. rostochiensis* ainsi, on peut déduire que ces populations sont mixtes mais dominées par *G. pallida*. De même, les populations ADG6 (Ain Defla), EAG3 (El Amra), RG4 (Rouina) et MEG (Mekhatria) sont constituées d'un mélange de kystes montrant les caractéristiques de *G. pallida* (nombre réduit de stries entre anus et vulve et rapport de Granek faible) et d'autres qui présentent les caractéristiques de *G. rostochiensis* (nombre de stries élevé entre l'anus et la vulve et une valeur élevée du rapport de Granek) (voir les valeurs minimales et maximales de nombre de stries entre anus-vulve et celles du rapport de Granek).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Concernant la population de Rouina RG1, l'observation des mesures effectuées sur les régions périnéales des kystes nous a laissé penser qu'il s'agit de *G. rostochiensis* (les kystes ont un nombre de stries allant de 16 à 25 et la valeur du rapport de Granek est élevée 3,80). Cependant, en combinant ces résultats avec ceux des juvéniles de deuxième stade, nous avons remarqué que certains kystes contenaient des larves ayant des caractéristiques (longueur du stylet et formes de leurs boutons basaux) de *G. pallida*.

Les figures 64 et 65 montrent les différences qui existent entre les régions périnéales des kystes de *G. rostochiensis* et celles de *G. pallida*.

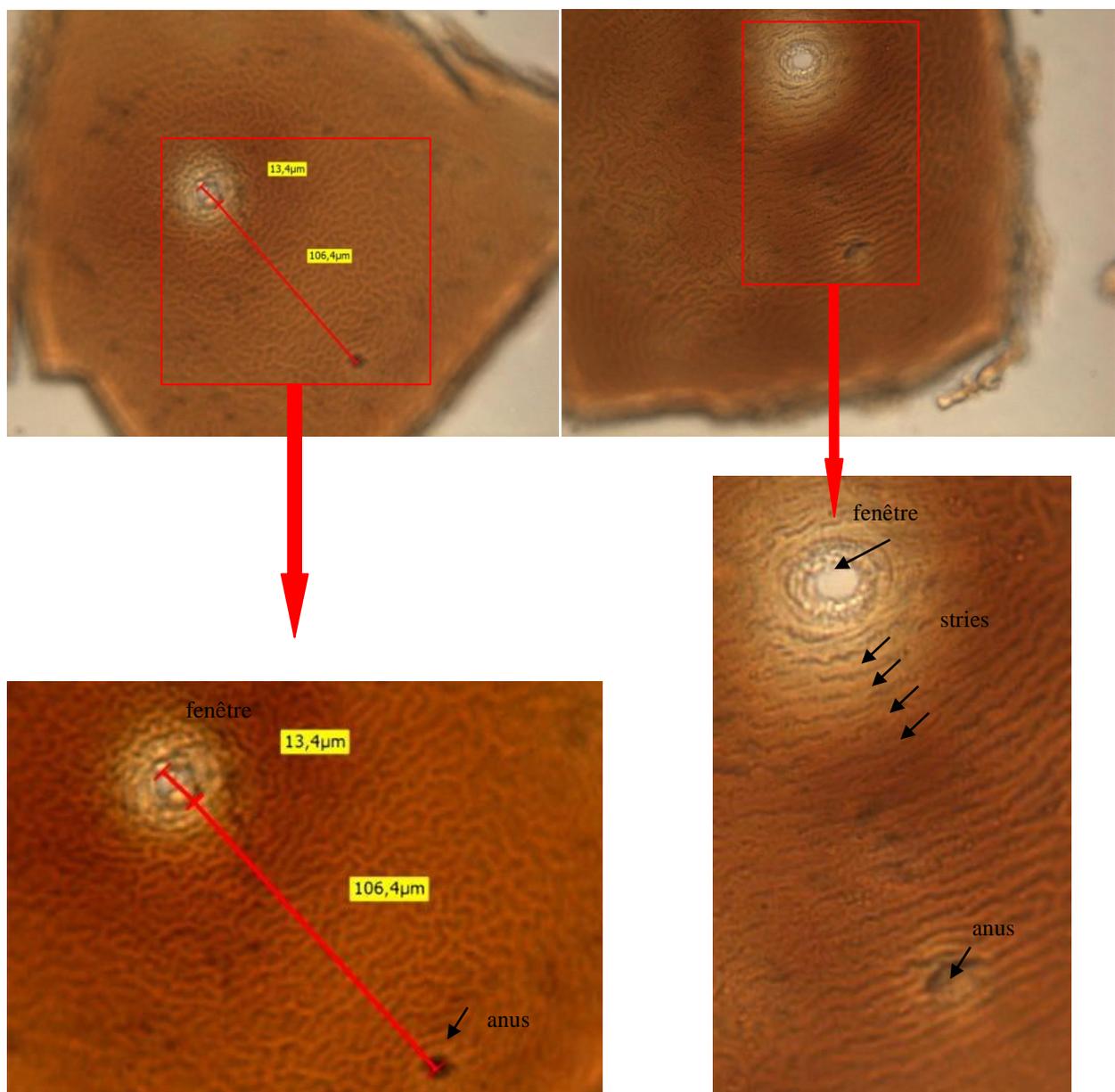


Figure 64: Vues microscopiques des régions périnéales des kystes de *G. rostochiensis* de la population (RG2) originaire de Rouina (Original).

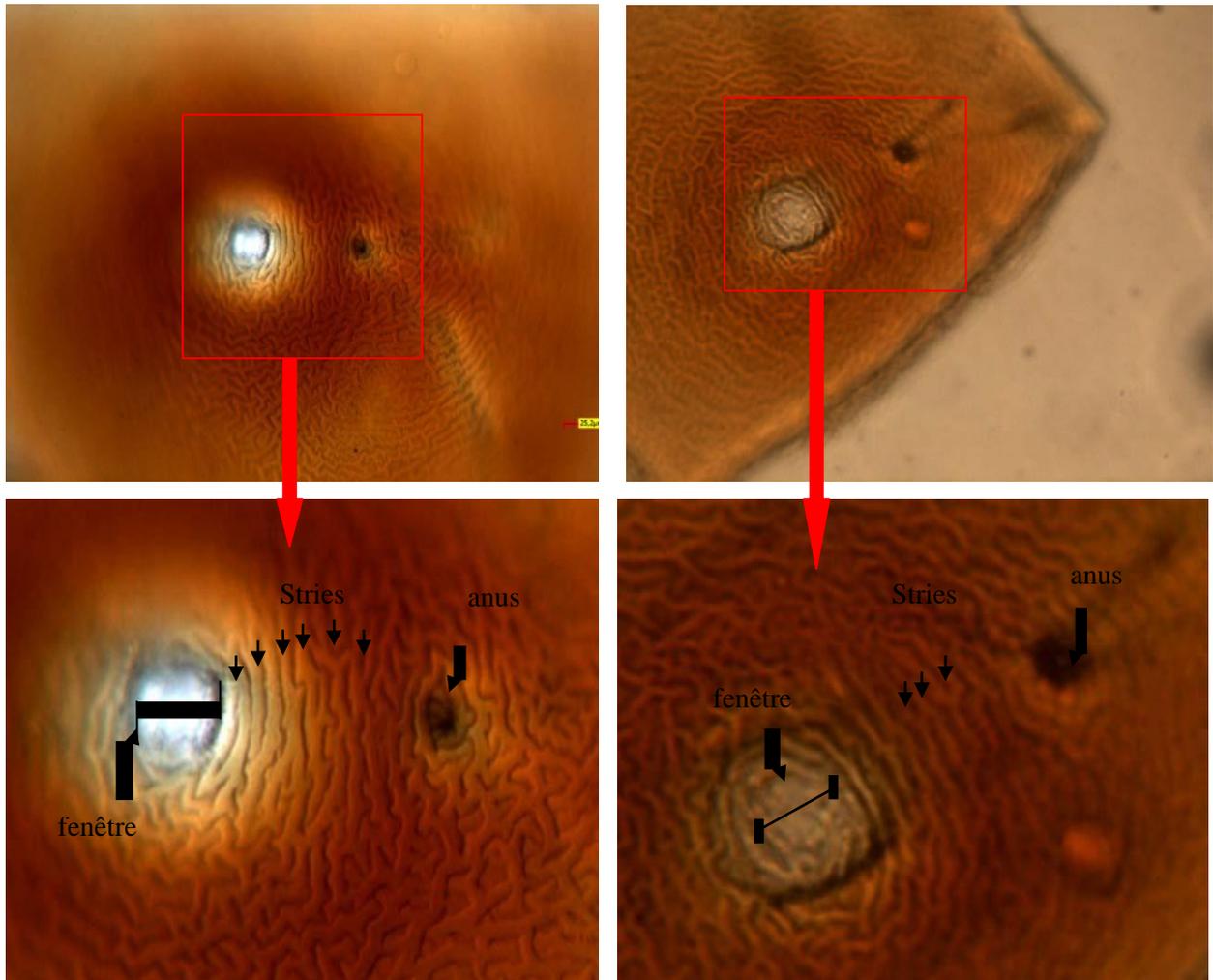


Figure 65 : Vues microscopiques des régions périnéales des kystes de *G. pallida* de la population (EAG2) originaire d'El Amra (Original).

- **Analyse de la variance**

Les résultats de l'analyse la variance (tableau 21) montrent des différences très hautement significatives entre les différentes populations en fonction des variables étudiées à savoir les critères des régions périnéales des kystes distance anus-vulve, longueur de la fenêtre, rapport de Granek, et nombre de stries entre l'anus et la vulve ($p < 0,0005$).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Tableau 21: Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% des caractères des régions périnéales des populations de NKPT étudiées.

Variable	Analyse de la Variance (Feuille)							
	Effets significatifs marqués à $p < ,05000$							
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	p
Distance anus-vulve	25128,72	15	1675,248	102125,2	304	335,938	4,98677	0,000000
Longueur de la fenêtre	1622,98	15	108,199	8099,5	304	26,643	4,06104	0,000001
Rapport de Granek	125,27	15	8,351	223,7	304	0,736	11,34970	0,000000
Nombre de stries	2119,85	15	141,323	4674,8	304	15,377	9,19027	0,000000

• Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales des variables étudiées pour la région périnéale des kystes fait ressortir de fortes corrélations entre les variables distance anus-vulve (dav), nombre de stries entre l'anus et la vulve (ns) et le rapport de Granek (Gr) par rapport à l'axe F2 (qui représente seulement 30,37% de l'information). Alors que la longueur de la fenêtre (lf) n'est pas corrélée avec les autres variables (Figure 66).

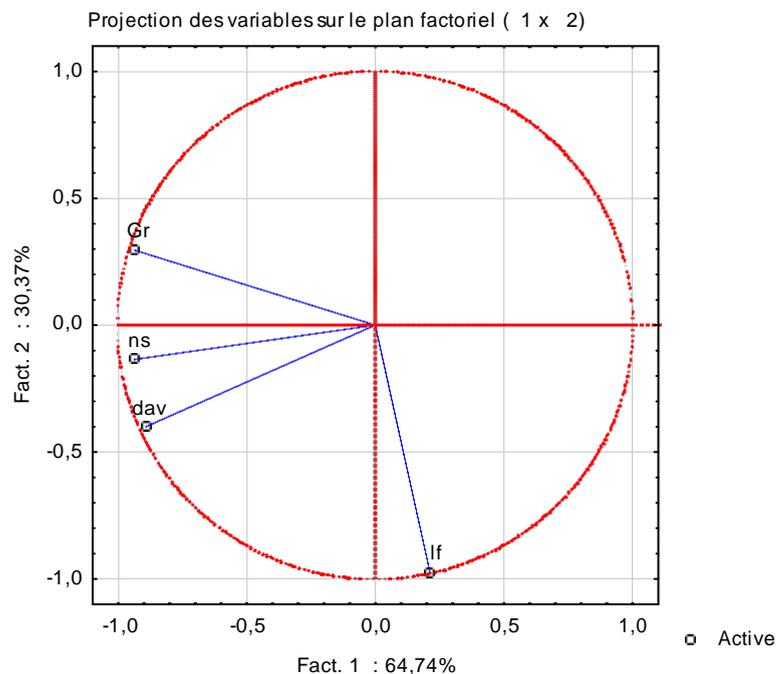


Figure 66: Analyse en composantes principales (ACP) relative aux variables étudiées pour la région périnéale des kystes.

Gr : Granek's ratio (rapport de Granek), ns : nombre de stries, dav : distance anus vulve, lf : longueur de la fenêtre.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VI.2.5. Morphométrie des juvéniles

Les résultats des mensurations effectuées sur des juvéniles infestants des différentes populations étudiées sont consignés dans le tableau 22. On note que pour l'étude des différents caractères morphologiques (Longueur du corps, largeur maximale du corps, largeur du corps au niveau de l'anus, longueur de la queue, longueur de la partie hyaline de la queue, les rapports a, c et c') 10 juvéniles fixés étaient utilisés sauf pour la longueur et forme des boutons basaux qui sont deux caractères morphologiques importants pour l'identification puisque 20 juvéniles frais sont utilisés. Les résultats relatifs aux caractères morphologiques des J2 montrent des différences claires entre les différentes populations. Pour la longueur du stylet et la forme de ses boutons basaux qui sont les caractères les plus importants pour l'identification des espèces du genre *Globodera*, nous avons noté que les populations RG2 et RG3 ont les moyennes les plus faibles des longueurs des stylets ($21,54 \pm 0,69$ et $20,9 \pm 0,7$ μm respectivement) et la forme de leurs boutons basaux est ronde (Figure 67 E, F, G). Ces valeurs et cette forme coïncident avec celles de *G. rostochiensis* citées en littérature et même l'observation des rangs de la longueur du stylet confirme cette identification (Baldwin et Mundo Ocumpo, 1991; OEPP/EPPO, 2009).

Les valeurs des moyennes de la longueur du stylet des populations ADG1, ADG2, ADG3, ADG4 d'Ain Defla, EAG2 d'El Amra sont proches de celles de *G. pallida*. Quant à la forme des boutons basaux de ces populations, elle était pointue dans sa partie antérieure et concave, cette forme est typique de celle de *G. pallida* (Figure 68 E, F, G).

Concernant les populations ADG5, ADG6 d'Ain Defla, , EAG1 d'El Amra, MEG de Mekhatria et celle d'Arib ARG, l'analyse des valeurs des moyennes et des rangs des longueurs du stylet montre que ces populations sont plus proches de celles de *G. pallida* que de *G. rostochiensis*, cependant, pour les populations ADG5, ADG6, EAG1, MEG et ARG, l'observation des valeurs des rangs montre que les valeurs minimales sont proches de *G. rostochiensis* et les valeurs maximales sont proches de *G. pallida*. Ainsi, nous avons déduit que ces populations sont une mixture des deux espèces ce qui est confirmé par l'observation de la forme des boutons basaux. En effet, les deux formes sont observées, celle de *G. pallida* et celle de *G. rostochiensis* mais avec une dominance de *G. pallida*. Concernant les populations EAG3 et EAG4, les moyennes et les rangs de la longueur du stylet sont proches de ceux de *G. pallida* et c'est seulement la forme des boutons basaux du stylet de quelques juvéniles qui nous a permis de détecter la présence de *G. rostochiensis* mais en nombre réduit, donc, elles étaient identifiées comme des populations mixtes avec une dominance de *G. pallida*.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

D'autres caractères morphologiques moins importants de point de vue systématique sont aussi étudiés. Des différences importantes sont enregistrées entre les populations pour tous ces caractères. Les résultats relatifs à la longueur du corps des juvéniles montrent que la population qui présente la longueur moyenne du corps la plus élevée est celle de Mekhatria MEG (population mixte) avec une moyenne de $462,2 \pm 46,16 \mu\text{m}$ suivie de celle d'El Amra EAG2 (*G. pallida*) avec $457,66 \pm 22,03 \mu\text{m}$ et la longueur moyenne la plus faible est celle d'Ain Defla ADG4 (*G. pallida*) avec une moyenne de $412,83 \pm 27,98 \mu\text{m}$. Des différences sont notées pour la largeur du corps entre les populations. Les juvéniles d'El Amra EAG2 présentent des corps larges par rapport aux autres populations avec une largeur moyenne de $20,38 \pm 1,04 \mu\text{m}$ et ceux d'Ain Defla ADG3 présentent les corps les moins larges ($18,04 \pm 1,33 \mu\text{m}$). Les largeurs moyennes au niveau de l'anus sont aussi variables puisque la largeur moyenne la plus faible est de $10,80 \pm 0,58 \mu\text{m}$ (RG3 de Rouina identifiée *G. rostochiensis*) et la largeur moyenne la plus élevée est de $12,45 \pm 0,47 \mu\text{m}$ (EAG2 d'El Amra identifiée *G. pallida*). La longueur moyenne de la queue la plus élevée est celle de la population mixte de Mekhatria MEG ($50,9 \pm 3,88 \mu\text{m}$) et la longueur moyenne de la queue la plus faible est celle de la population de Rouina RG3 ($41,50 \pm 3,75 \mu\text{m}$). De même, la longueur de la partie hyaline de la queue est très variable entre les différentes populations. Elle varie de $23,40 \pm 2,22 \mu\text{m}$ (ADG3 d'Ain Defla) à $32,09 \pm 4,44 \mu\text{m}$ (EAG3 d'El Amra).

Les rapports a, c et c' sont aussi variables. Le rapport a varie de $20,63 \pm 1,15$ (EAG3 d'El Amra qui est mixte) à $23,26 \pm 2,03$ (ADG1 d'Ain Defla qui est identifiée *G. pallida*). Le rapport c varie de $8,41 \pm 1,20$ (EAG3, *G. pallida* d'El Amra) et $10,33 \pm 1,41$ (RG3 de Rouina identifiée *G. rostochiensis*). Quant au rapport c', il varie de $3,53 \pm 0,35$ (ARG d'Arib, population mixte) à $4,06 \pm 0,53$ (EAG3 d'El Amra).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Tableau 22 : Mensurations des juvéniles de différentes populations de *Globodera* d'origine d'Ain Defla, Algérie.

Toutes les mesures sont en μm (sauf pour les rapports a, c et c'), présentées en moyenne \pm écart type avec maxima et minima entre parenthèses (n=10).

Code	Longueur du stylet***	Forme des boutons basaux du stylet** *	Longueur du corps	Largeur du corps	Largeur du corps au niveau de l'anus	Longueur de la queue	Longueur de la partie hyaline de la queue	a	c	c'	Identification
ADG1	23,40 \pm 0,61 (22,23-24,51)	1	444,24 \pm 36,19 (376,86-496,77)	19,15 \pm 1,29 (16,53-20,52)	11,40 \pm 0,93 (10,26-12,54)	44,69 \pm 5,96 (38,19-58,14)	25,47 \pm 3,40 (21,77-33,14)	23,26 \pm 2,03 (18,89-26,25)	10,03 \pm 0,99 (8,54-11,73)	3,93 \pm 0,46 (3,18-4,64)	<i>G. pallida</i>
ADG2	23,33 \pm 0,72 (22,23-24,51)	1	434,82 \pm 29,73 (393,99-491,06)	18,87 \pm 1,05 (17,10-19,95)	12,03 \pm 0,57 (10,83-12,54)	47,42 \pm 2,71 (43,89-52,44)	26,76 \pm 2,36 (22,80-29,93)	23,10 \pm 1,95 (20,61-26,92)	9,20 \pm 0,86 (8,38-11,04)	3,94 \pm 0,17 (3,71-4,38)	<i>G. pallida</i>
ADG3	23,11 \pm 0,37 (22,80-23,94)	1	417,40 \pm 46,81 (382,57-508,19)	18,04 \pm 1,33 (15,96-19,95)	11,63 \pm 1,22 (9,69-13,11)	44,35 \pm 4,97 (39,90-57,00)	23,40 \pm 2,22 (19,95-26,79)	23,23 \pm 2,88 (19,75-27,86)	9,47 \pm 1,21 (8,51-12,74)	3,84 \pm 0,50 (3,18-4,71)	<i>G. pallida</i>
ADG4	23,24 \pm 0,70 (22,23-24,23)	1	412,83 \pm 27,98 (359,73-445,38)	18,30 \pm 1,64 (15,96-20,52)	12,11 \pm 0,36 (11,40-12,54)	45,97 \pm 7,07 (34,20-55,86)	24,00 \pm 3,82 (19,38-32,49)	22,70 \pm 2,23 (18,03-25,38)	9,13 \pm 1,18 (7,77-11,02)	3,80 \pm 0,64 (2,86-4,90)	<i>G. pallida</i>
ADG5	22,55 \pm 1,26 (20,10-24,50)	1 et 2	421,97 \pm 43,19 (354,02-513,90)	19,49 \pm 0,97 (17,10-20,52)	12,06 \pm 0,47 (11,40-12,54)	48,08 \pm 2,81 (44,46-53,58)	28,13 \pm 3,04 (20,52-30,50)	21,62 \pm 1,62 (19,75-25,40)	8,77 \pm 0,67 (7,57-9,72)	3,99 \pm 0,26 (3,55-4,33)	Population mixte*
ADG6	22,40 \pm 1,08 (20,52-23,94)	1 et 2	415,12 \pm 27,85 (382,57-451,09)	19,15 \pm 1,55 (15,96-20,52)	11,63 \pm 0,91 (10,26-12,83)	42,01 \pm 6,12 (34,20-54,15)	24,08 \pm 3,73 (19,95-32,49)	21,84 \pm 2,65 (18,92-26,38)	10,05 \pm 1,46 (7,80-12,37)	3,62 \pm 0,49 (2,84-4,52)	Population mixte*
EAG1	23,76 \pm 0,69 (22,23-24,51)	1 et 2	432,82 \pm 50,49 (376,86-513,90)	19,24 \pm 0,99 (17,96-21,09)	12,08 \pm 0,94 (10,55-13,11)	45,69 \pm 5,80 (34,77-54,72)	26,62 \pm 2,79 (22,23-29,93)	22,60 \pm 3,33 (19,22-28,62)	9,55 \pm 1,07 (7,62-10,86)	3,79 \pm 0,47 (3,05-4,49)	Population mixte*
EAG2	23,28 \pm 0,68 (22,23-24,57)	1	457,66 \pm 22,03 (433,96-502,48)	20,38 \pm 1,04 (18,81-22,80)	12,45 \pm 0,47 (11,40-13,11)	49,68 \pm 3,66 (43,32-57,00)	30,58 \pm 3,80 (23,37-37,05)	22,49 \pm 1,26 (20,04-24,49)	9,26 \pm 0,79 (8,21-10,62)	3,99 \pm 0,20 (3,73-4,35)	<i>G. pallida</i>

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

EAG3	23,92±0,58 (22,80-24,51)	1 et 2	415,97±13,53 (399,70-433,96)	20,21±0,99 (18,53-21,66)	12,37±0,36 (11,97-12,83)	50,19±5,98 (36,48-59,85)	32,09±4,44 (23,37-38,19)	20,63±1,15 (18,98-23,07)	8,41±1,20 (6,73-11,27)	4,06±0,53 (2,91-5,00)	Population mixte*
EAG4	23,79±0,84 (22,80-25,65)	1 et 2	444,52±25,11 (399,70-479,64)	20,04±0,84 (18,81-21,66)	11,94±0,78 (10,26-12,83)	48,56±6,32 (38,19-57,00)	31,66±4,03 (25,08-37,62)	22,22±1,56 (20,60-24,75)	9,29±1,32 (7,75-11,25)	4,06±0,43 (3,35-4,62)	Population mixte*
RG1	22,53±1,20 (20,52-24,80)	1 et 2	416,54±24,09 (359,73-439,67)	19,72±1,29 (17,67-21,66)	12,06±0,62 (10,83-12,83)	44,40±6,30 (35,91-53,01)	29,38±4,91 (21,09-36,20)	21,16±1,29 (19,48-24,10)	9,53±1,28 (8,08-11,87)	3,67±0,42 (3,23-4,38)	Population mixte**
RG2	21,54±0,69 (19,95-22,80)	2	422,54±40,91 (371,15-502,48)	19,41±1,45 (16,25-21,66)	12,03±0,64 (10,55-12,54)	45,80±4,90 (37,05-54,72)	27,08±2,77 (22,80-31,92)	21,86±2,42 (18,60-25,98)	9,29±1,05 (8,08-11,40)	3,80±0,28 (3,25-4,36)	<i>G. rostochiensis</i>
RG3	20,9±0,70 (19,95-22,52)	2	424,82±32,80 (388,28-502,48)	18,95±1,02 (17,10-20,52)	10,80±0,58 (9,75-11,70)	41,50±3,75 (35,34-47,88)	24,77±1,74 (22,23-27,36)	22,49±2,34 (19,46-27,55)	10,33±1,41 (8,59-12,59)	3,85±0,38 (3,20-4,47)	<i>G. rostochiensis</i>
RG4	21,98±0,94 (20,24-23,66)	1 et 2	433,67±41,86 (393,99-519,61)	19,67±0,79 (18,53-20,81)	12,08±0,65 (10,83-12,83)	46,71±2,60 (42,75-50,73)	27,08±4,17 (21,38-32,49)	22,09±2,38 (19,75-26,41)	9,29±0,74 (8,39-10,60)	3,87±0,20 (3,51-4,11)	Population mixte**
MEG	23,45±0,58 (22,52-24,23)	1 et 2	462,2±46,16 (399,70-525,32)	19,9±1,31 (17,67-21,66)	12,4±0,97 (10,26-13,40)	50,9±3,88 (46,17-57,57)	31,7±2,88 (28,50-36,48)	23,2±2,37 (20,32-28,44)	9,1±0,98 (7,38-10,37)	4,1±0,35 (3,68-4,72)	Population mixte*
ARG	23,59±1,38 (21,09-26,51)	1 et 2	435,67±34,69 (393,99-502,48)	19,55±1,00 (18,24-21,66)	12,40±0,39 (11,40-12,83)	43,83±5,06 (35,34-49,59)	24,99±2,31 (21,66-28,50)	22,38±2,62 (19,75-27,55)	10,08±1,61 (8,39-13,99)	3,53±0,35 (2,82-3,91)	Population mixte*

1: type *G. pallida* (pointus antérieurement)

2: type *G. rostochiensis* (rounds).

* : Dominance de *G. pallida*

** : Dominance de *G. rostochiensis*

*** : n= 20

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

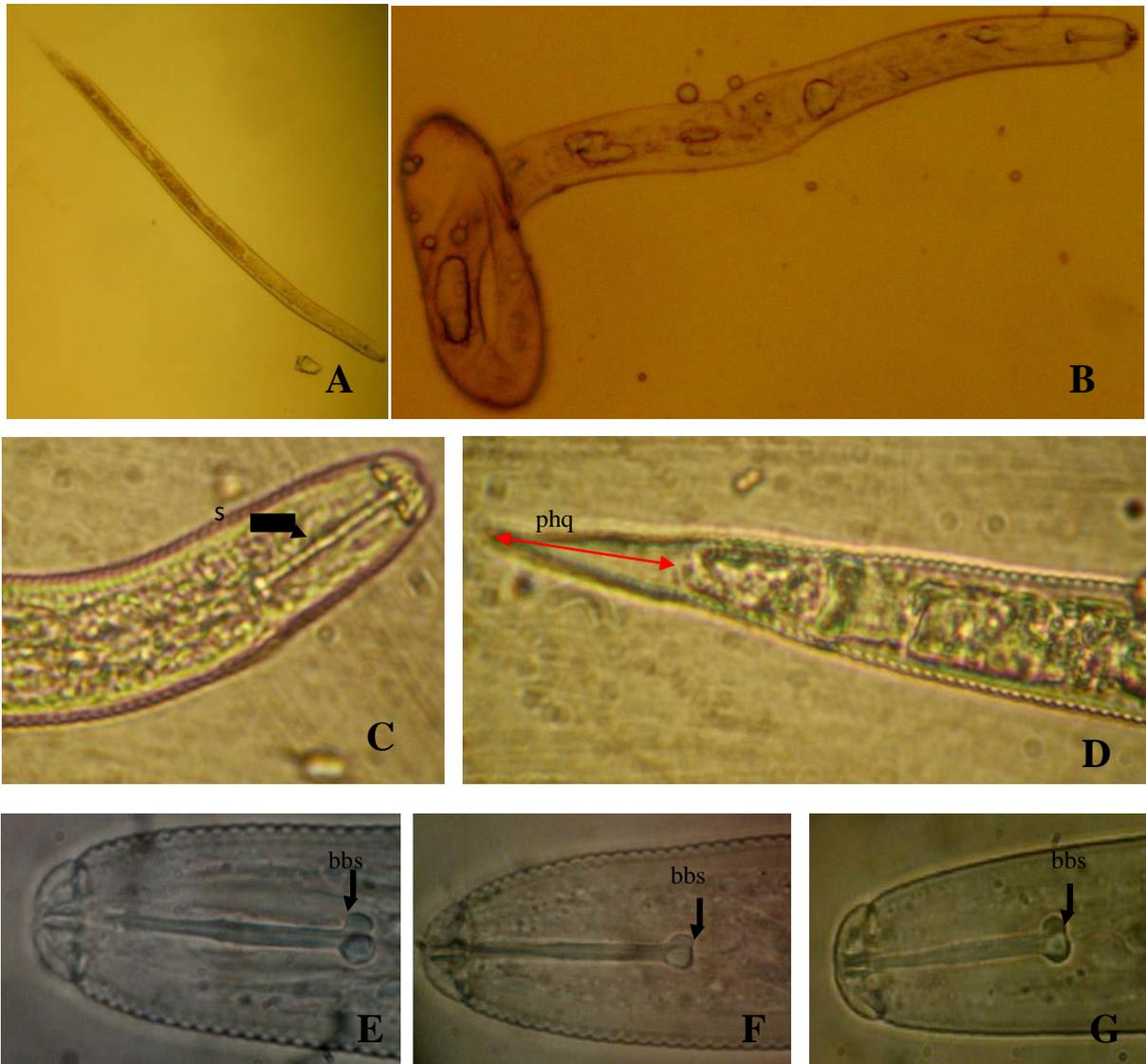


Figure 67 : Vues microscopiques des juvéniles de deuxième stade de *G. rostochiensis*. A : corps entier (G : X10), B : juvénile sortant d'un œuf (G : X40), C : partie antérieure (G : X100), D : partie postérieure (G : X 100); E, F, G : tête (G : X100) (Original).

(Voir la forme des boutons basaux du stylet : ronds)

s : stylet ; phq : partie hyaline de la queue ; bbs : boutons basaux du stylet.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

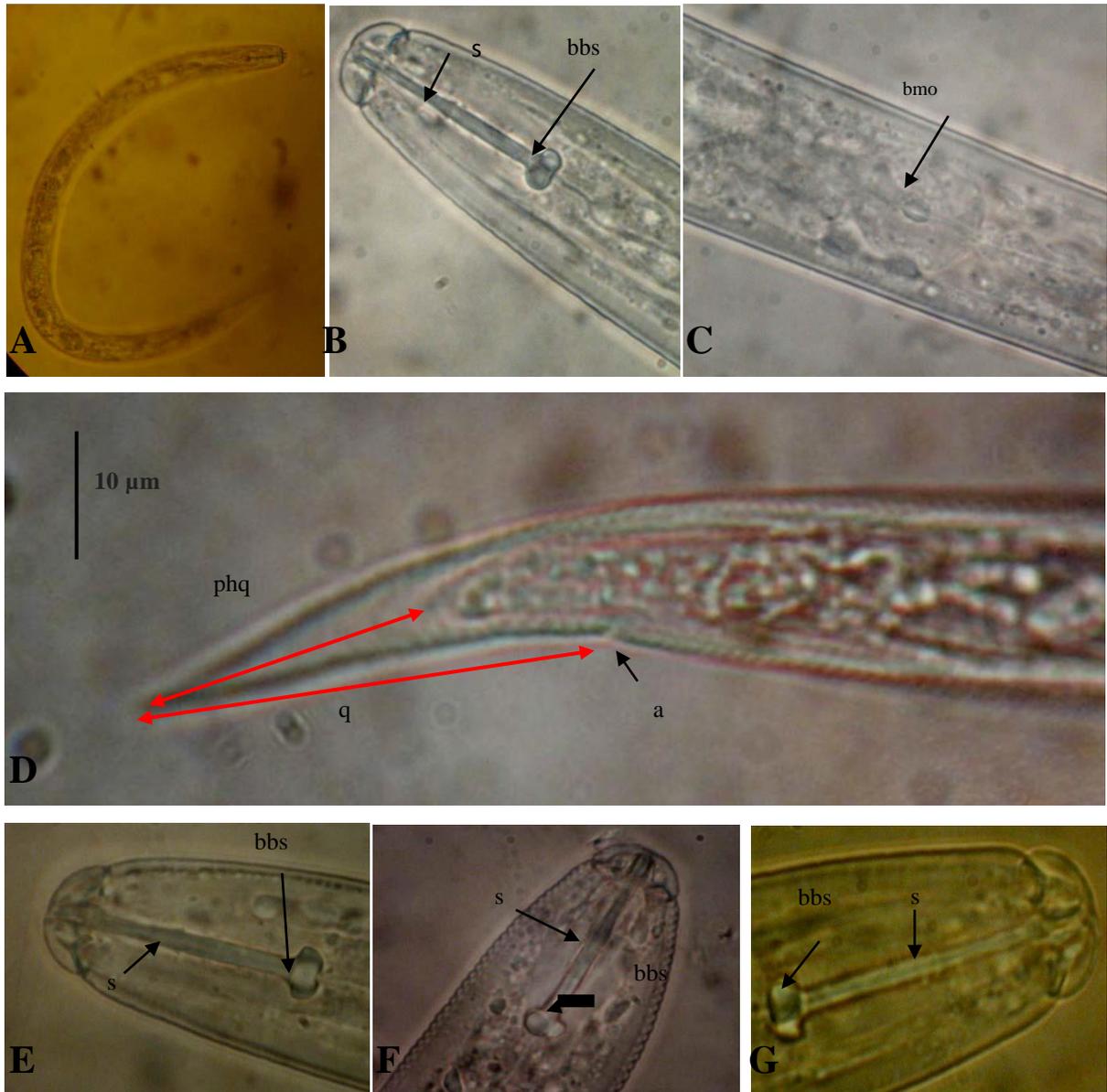


Figure 68 : vues microscopiques des juvéniles de deuxième stade de *G. pallida*. A : corps entier (G : X10) ; B : partie antérieure (G : X100); C : partie médiane (G : X100) ; D : partie postérieure ; E, F, G : tête (G: X100), (Original).

(Voir la forme des boutons basaux du stylet, pointus et légèrement concaves dans la partie antérieure)

s : stylet, bbs : boutons basaux du stylet, bmo : bulbe médian de l'œsophage, a : anus, q : queue, phq : partie hyaline de la queue.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

- **Analyse de la variance**

L'analyse de la variance a révélé des différences significatives pour la longueur du corps ($p=0.033$) et des différences très hautement significatives ($p<0.0005$) pour la longueur du stylet, largeur maximale du corps, largeur du corps au niveau de l'anus, longueur de la queue, longueur de la partie hyaline de la queue et le rapport c. Cependant, les différences ne sont pas significatives pour les rapports a ($p=0,29652$) et c' ($p= 0,071045$) (tableau 23).

Tableau 23 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% des caractères des juvéniles des populations de NKPT étudiées.

Variable	Analyse de la Variance (Feuille)							
	Effets significatifs marqués à $p < ,05000$							
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	p
ls-j	226,77	15	15,118	223,7	304	0,736	20,53994	0,000000
lc-j	34831,72	15	2322,115	180658,5	144	1254,573	1,85092	0,033023
Lmc-j	61,80	15	4,120	202,3	144	1,405	2,93179	0,000445
lca-j	27,74	15	1,849	74,8	144	0,520	3,55790	0,000032
lq-j	1159,39	15	77,292	3699,4	144	25,690	3,00862	0,000323
lhq-j	1291,82	15	86,121	1654,5	144	11,490	7,49537	0,000000
a	86,57	15	5,771	706,5	144	4,906	1,17637	0,296522
c	1645,43	15	109,696	219,6	144	1,525	71,91707	0,000000
c'	4,03	15	0,269	23,7	144	0,164	1,63624	0,071045

- **Analyse en composantes principales des variables liées à la morphométrie des juvéniles**

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales des variables liées à la morphométrie des juvéniles (Figure 69) montre qu'il y'a de fortes corrélations entre quelques variables. En effet, des corrélations sont enregistrées pour la largeur maximale des corps des juvéniles (lmc-j) et les largeurs au niveau de l'anus (lca-j). Des corrélations moins fortes sont notées entre la longueur du stylet (ls-j) et ces deux variables. La longueur de la queue (lq-j), celle de la partie hyaline de la queue des juvéniles (lhq-j) et le rapport c' sont fortement corrélés. Quelques corrélations sont notées pour les variables longueur du corps des juvéniles (lc-j) et le rapport a. Cependant, la variable c n'est pas corrélée aux autres variables.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

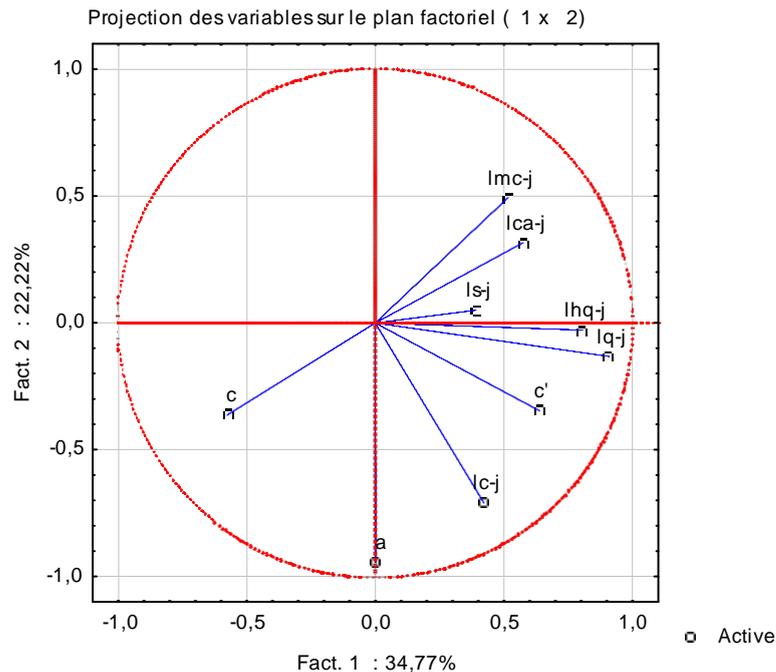


Figure 69: Analyse en composantes principales (ACP) relative aux variables étudiées pour les juvéniles.

lmc-j : largeur maximale des corps des juvéniles, lca-j : largeurs au niveau de l'anus, lhq-j : longueur de la partie hyaline de la queue, lq-j : longueur de la queue des juvéniles, ls-j : longueur du stylet des juvéniles, lc-j : longueur du corps des juvéniles, a, c et c' sont des rapports (voir Matériel et méthodes).

VI.2.6. Classification hiérarchique des populations étudiées

En se basant sur les résultats relatifs aux trois critères les plus importants pour l'identification des espèces de nématodes à kystes du genre *Globodera*, nous avons établi une classification hiérarchique des seize populations étudiées. Deux caractères des kystes (le rapport de Granek et le nombre de stries sur l'axe anus-vulve) et un caractère des juvéniles (longueur du stylet) sont pris en considération. L'analyse des données relatives au dendrogramme de classification hiérarchique ascendante des variables considérées fait ressortir essentiellement trois différents groupes : le premier regroupe les populations de *G. pallida* (ADG1, ADG2, ADG3, ADG4, EAG2) et les populations mixte à dominance *G. pallida* (ADGP5, EAG1, EAG3, EAG4, MEG et ARG). Le second, renferme des populations de *G. rochtsiensis* (RG2 et RG3) et des populations mixtes à dominance *G. rochtsiensis* (RG1 et RG4) récoltées dans la localité de Rouina. Le troisième groupe, formé de la population mixte (ADG6) dominée par *G. pallida* qui se retrouve à une plus grande distance Enclidienne (Figure 70).

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

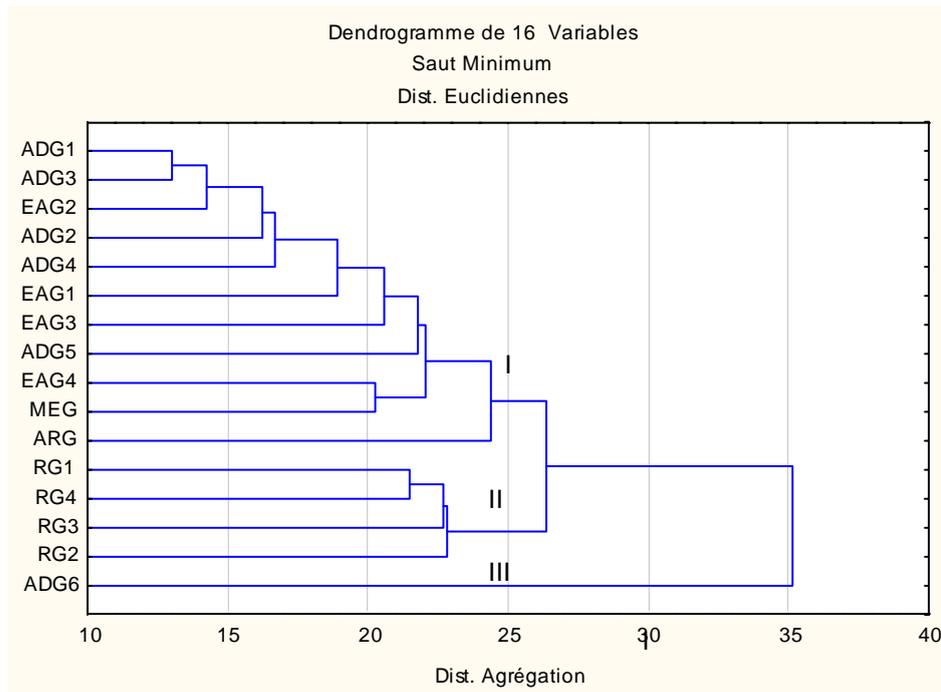


Figure 70 : Classification hiérarchique des populations de nématodes à kystes de la pomme de terre basée sur deux caractères des kystes et un caractère des juvéniles (origine des populations : voir tableau 16).

VI.4. Discussion et conclusion

La présente étude a révélé que les deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre sont présentes dans la région d'Ain Defla, Algérie. *G. rostochiensis* et *G. pallida* peuvent exister en populations mixtes ou séparément dans des sites cultivés en pomme de terre. En effet, dans la même région, On a détecté des parcelles infestées par une seule espèce, soit *G. rostochiensis* ou *G. pallida* et des parcelles infestées par les deux espèces. *G. pallida* était dominante dans les sites d'Ain Defla et El Amra mais *G. rostochiensis* était dominante dans la localité de Rouina. Seulement, une population était étudiée dans chacune des régions d'Arrib et de Mekhatria vu que les autres populations récoltées dans ces régions au cours de nos prospections qui se sont étalées de la fin 2011 jusqu'à octobre 2013 ne contenaient pas ou contenaient peu de kystes pleins qui sont nécessaires pour une caractérisation morphologique afin de pouvoir combiner entre les caractères des régions périnéales des kystes et ceux des juvéniles de deuxième stade. Les populations étudiées dans ces deux régions étaient identifiées comme des populations mixtes.

La classification hiérarchique ascendante a séparé les populations de *G. pallida* et celles à dominance *G. pallida* des populations *G. rostochiensis* et celles à dominance *G. rostochiensis*.

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Les populations mixtes sont classées selon la dominance de l'une ou de l'autre espèce. La position de la population mixte ADG6 d'origine d'Ain Defla dans le dendrogramme reste discutable et vraisemblablement, le faible nombre de kystes pris en considération ne permet pas de tirer des conclusions fiables. Cependant, elle serait liée au fait que cette population contenait deux kystes de *G. rostochiensis* qui se distingue par un nombre très élevé de stries entre l'anus et la vulve (30 et 33 stries).

La différence de réponse des deux espèces aux conditions environnementales (conditions édaphiques et climatiques), pratiques culturales mais aussi la densité initiale de ces nématodes aurait créé la situation que *G. pallida* est l'espèce la plus fréquente dans les régions d'Ain Defla et El Amra alors qu'à Rouina c'est *G. rostochiensis* qui prévaut. En général, à Ain Defla, la variété la plus cultivée est Spunta qui est sensible vis-à-vis des deux espèces (Greco et al., 2007). Néanmoins, les agriculteurs introduisent, quelquefois, d'autres variétés de la pomme de terre dans la rotation telles que Bartina, kondor, Sarpo Mira et Atlas qui peuvent avoir différents effets sur la reproduction des deux espèces. Aucune information n'est disponible au sujet de la résistance des cultivars de la pomme de terre cultivés sous des conditions Algériennes aux nématodes à kystes de genre *Globodera*. Donc, des expériences doivent être effectuées pour évaluer le niveau de la résistance des variétés les plus cultivées en Algérie.

La dominance de *G. pallida* dans la région d'Ain Defla pourrait être liée à la récolte précoce de la pomme de terre pratiquée souvent par les agriculteurs de cette région pour obtenir les plus hauts prix du marché. Cette pratique peut être à la faveur de *G. pallida* sachant que les femelles de cette espèce ont été rapportées pour se développer légèrement plus rapide que celles de *G. rostochiensis* (Webley et Jones, 1981).

En 2006, une enquête menée en Tunisie sur les NKPTs a révélé leur présence dans plusieurs régions (Bizerte, Cap Bon, Sousse et Montsair). Cette étude a aussi montré que dans certaines régions, seulement une seule espèce est présente (*G. pallida* à Bizerte et *G. rostochiensis* à Cap Bon) mais dans d'autres, les deux espèces sont présentes simultanément (Sousse) (Hlaoua et al., 2008).

Plusieurs études confirment nos résultats sur la présence des deux espèces de NKPT en mixture dans un même champ. Evans et al. (1975) ont signalé la présence de populations mixtes dans quelques pays d'Amérique du Sud. Marshall (1993) a aussi détecté la présence de *G. pallida* et *G. rostochiensis* en populations mixtes en Nouvelle-Zélande à l'aide de sondes d'ADN. L'analyse de quelques populations de ces nématodes, détectés dans plusieurs champs de pomme de terre en Irlande, a montré que 81% des populations se composaient seulement de *G. rostochiensis*, 8% de *G. pallida* et 11% d'un mélange des deux espèces (Turner, 1996). De

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

même, Ibrahim et *al.* (2001) ont analysé des échantillons du sol parvenant de 484 champs, où la pomme de terre est introduite en rotation, en Angleterre et aux Pays de Galles avec différentes techniques moléculaires. Les résultats de la PCR ont indiqué que 66% d'échantillons contenaient *G. pallida* pure, 8% contenaient *G. rostochiensis* pure et 26% contenaient une mixture des deux espèces.

Cette étude a indiqué que dans le cas des populations mixtes, il y'a prédominance de l'une des deux espèces. Dans la majorité des populations mixtes (celles collectées à Ain Defla, El Amra, Arib et Mekhatria), il y'avait dominance de *G. pallida*. Cependant, pour les deux populations mixtes de Rouina, Nous avons noté la dominance de *G. rostochiensis*. Den Nijs (1992) a rapporté qu'une interaction existe entre ces deux espèces quant elles sont présentes en mélange. Cet auteur explique que pour ces deux espèces étroitement apparentées, qui ont les mêmes sites de nourriture sur le même hôte, sont généralement supposées pour être mutuellement antagonistes parce que les nématodes concourent pour le site de l'alimentation disponible.

L'existence des deux espèces en mélange dans une même parcelle pourrait constituer une difficulté pour l'établissement d'une stratégie de lutte car les deux espèces de NKPT peuvent réagir différemment aux mesures de lutte (Ibrahim, 2001 ; Madani et *al.*, 2010) particulièrement dans le cas de l'emploi de variétés résistantes puisque les résistances des cultivars sont généralement spécifiques (Whitehead et Turner, 1998). Donc, il y'a une nécessité de créer des cultivars résistants simultanément aux deux espèces de NKPT, ce qui est délicat sachant que dans le cas de *G. pallida*, il n'existe que peu de variétés résistantes (Chauvin et *al.*, 2008). De plus, ce résultat renforce la possibilité de l'hybridation croisée entre ces deux espèces de nématodes qui pourraient donner lieu à de nouveaux génotypes, ce qui compliquerait encore les mesures de contrôle.

Différents caractères morphométriques étaient étudiés mais seulement quelques caractères sont importants pour la distinction entre les deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre. Dans notre étude, deux caractères de la région périnéale des kystes (rapport de Granek et nombre de stries entre l'anus et la vulve) et deux des juvéniles de deuxième stade (longueur du stylet et forme de ses boutons basaux) nous ont aidé à séparer les populations de *G. pallida* de celles de *G. rostochiensis*. L'analyse des résultats relatifs à ces mêmes caractères nous a permis de conclure que certaines populations étaient mixtes. L'importance de ces caractères pour l'identification des NKPTs est rapportée par plusieurs auteurs (Golden,

Chapitre VI: Identification morphologique des espèces de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

1986 ; Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991 ; Fleming et Power, 1998 ; OEPP/EPPO, 2004 ; OEPP/EPPO, 2009).

Pour quelques caractères morphologiques des juvéniles, parfois, on note quelques différences par rapport aux populations rapportées par certains auteurs et autrefois, on enregistre des valeurs moyennes très proches. Par exemple, Les populations de *G. pallida* originaires d'Ain Defla ADG1, ADG2 ADG3, ADG4 et celle d'El Amra EAG2 montrent des longueurs moyennes du corps légèrement courtes ($444,24 \pm 36,19$, $434,82 \pm 29,73$, $417,40 \pm 46,81$, $412,83 \pm 27,98$ et $457,66 \pm 22,03$ μm respectivement) que celles rapportées par Stone (1973) ($486 \pm 23\mu\text{m}$). Cependant, la moyenne de la longueur du corps de la population d'El Amra EAG2 ($457,66 \pm 22,03$ μm) est proche de la longueur rapportée par Skantar et *al.* (2007) pour une population de *G. pallida* originaire de l'Idaho, Etats Unis d'Amérique (452.0 ± 36.0 μm) et de la longueur rapportée pour la longueur du corps des populations Gojna Gora et Šanac ($455,91 \pm 33,27$ μm et $444,99 \pm 32,98$ μm respectivement). Les longueurs moyennes des corps des deux populations de *G. rostochiensis* RG2 et RG3 ($422,54 \pm 40,91$ et $424,82 \pm 32,80$ μm respectivement) étaient légèrement courtes que celles de la population de Milatovići, Serbia ($471,87 \pm 21,59$ μm) signalées par Oro et *al.* (2010) et de celles des populations Serbes citées par Bačić et *al.* (2013).

Malgré la mise au point de nouvelles techniques d'identification, à savoir les méthodes moléculaires, il est nécessaire de les combiner aux méthodes classiques basées sur l'étude des caractères morphologiques et morphométriques de ces parasites. En effet, plusieurs travaux sont réalisés, à travers le monde, suivant cette approche (Golden, 1986 ; Vejl et *al.*, 2002 ; Manduric et *al.*, 2004 ; Skantar et *al.*, 2007 ; Oro et *al.*, 2010).

Vu la large répartition des nématodes à kystes de la pomme de terre dans le monde et leurs importance économique, plusieurs travaux sont conduits à travers les différents continents visant à caractériser morphologiquement ou génétiquement ces parasites. Cependant, peu de données sont disponibles sur les espèces et les populations présentes en Afrique du nord. En effet, hormis l'étude réalisée par Hlaoua et *al.* (2008) qui se sont intéressés à la caractérisation morphologique et moléculaire de quelques populations tunisiennes de NKPT, on note l'inexistence de publications s'intéressant à cet aspect voir même aux autres aspects de ce sujet.

Chapitre VII

**Caractérisation moléculaire de
quelques populations de
nématodes à kystes de la pomme
de terre de la région d'Ain Defla**

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VII.1. Objectifs

L'objectif de cette étude est de :

- Confirmer l'identité des populations de nématodes à kystes, identifiées morphologiquement, par des méthodes moléculaires à savoir la PCR-RFLP, le séquençage et l'analyse phylogénétique.
- L'étude d'une éventuelle variabilité génétique au sein des populations algérienne d'une même espèce.
- Explorer les relations phylogénétiques des populations de *Globodera rostochiensis* et *G. pallida* d'origine d'Ain Defla avec des populations d'origine (européenne ou américaines).

VII.2. Matériel et méthodes

VII.2.1. Populations de *Globodera* utilisées dans cette étude

Six populations parmi les 16 caractérisées morphologiquement en Chapitre VI sont soumises à l'analyse moléculaire :

- ADG3 d'Ain Defla, EAG2 d'El Amra identifiées morphologiquement comme *G. pallida*.
- RG2 et RG3 d'origine de Rouina identifiées morphologiquement comme *G. rostochiensis*.
- ARG d'Arib et MEG de Mekhatria (populations mixtes).

Pour la population mixte d'Arib, on a analysé des juvéniles provenant d'un kyste identifié morphologiquement comme *G. pallida* et d'autres provenant d'un kyste identifié comme *G. rostochiensis* mais pour la population de Mekhatria, on a analysé seulement des juvéniles provenant d'un kyste identifié morphologiquement comme *G. pallida*.

Les caractéristiques des parcelles où nous avons collecté ces populations sont présentées dans le tableau 15 (chapitre VI).

VII.2.2. Choix du marqueur moléculaire

Dans cette étude, nous avons opté pour l'analyse de la région ITS de L'ADN ribosomique qui est couramment utilisée pour discriminer différentes espèces de nématodes. L'ADNr (DNAr) est constitué d'unités répétées appelées cistrons. Chaque cistron est agencé comme suit : une région non codante (ETS), une petite sous unité ribosomique (le gène 18S), une région interne transcrite (ITS1), le gène 5.8S, une région interne transcrite (ITS2), une grande

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

sous unité ribosomique (le gène 28S) (Figure 71) (De Giorgi et *al.*, 2002 in De Luca et *al.*, 2004). La région ITS affiche des variations de séquences même entre les espèces étroitement liées et par conséquent, elle peut être utilisée pour établir des relations phylogénétiques à différents niveaux, allant des organismes lointainement liés à celles qui distinguent entre les différentes populations d'une même espèce (De Luca et *al.*, 2004).

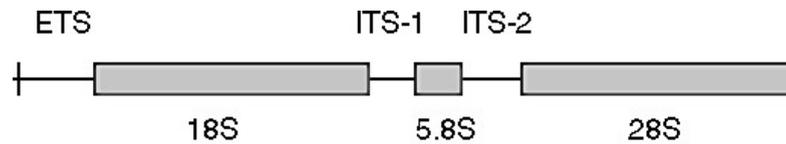


Figure 71 : Organisation d'un cistron de l'ADN ribosomique.

VII.2.3. Extraction de l'ADN génomique

L'ADN génomique a été extrait de cinq nématodes provenant d'un kyste individuel de chaque localité d'Ain Defla (Tableau 15, chapitre VI) comme décrit par De Luca et *al.* (2004). Chaque étape du procédé est effectuée sous un microscope à dissection. Tout d'abord, les nématodes sont transférés, à l'aide d'une pipette, dans une goutte de solution de lyse sur une lame. Ensuite, nous procédons à la fragmentation mécanique du nématode en le coupant en petits morceaux grâce à l'aiguille d'une seringue stérilisée. Les nématodes de cette manière sont exposés à la solution de lyse et l'ADN sera libéré après la destruction des cellules. Le matériel génétique est ensuite recueilli avec une pipette et placé dans un tube Eppendorf de 0,5 ml. Cette opération est répétée pour chaque nématode. Il faut changer, à la fois, la lame et l'aiguille pour éviter les contaminations. Ensuite, nous procédons à la dénaturation de l'ADN, le lysat est mis en incubation pendant 1 heure à 60 ° C puis 5 minutes à 95 ° C. L'ADN dénaturé peut être directement amplifié.

La solution de lyse contient :

KCl 2M	125µl
MgCl ₂ 1M	12.5µl
Tris-HCl 1M	50µl
Gelatine 2%	25µl
Triton X-100	50µl
Proteinase K	45µl
Compléter par l'eau distillée pour obtenir un volume de 5ml	

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

VII.2.4. PCR (Polymerase Chain Reaction ou Réaction en Chaîne Parpolymérase)

VII.2.4.1. Principe de la PCR

La PCR est un procédé de synthèse enzymatique *in vitro* qui permet l'amplification de séquences cibles présentes dans un échantillon d'ADN. La principale caractéristique est la capacité d'amplifier en millions de fois de très petites quantités de matériel de départ. Pour obtenir ce type d'amplification sélective, il est nécessaire de connaître les séquences qui délimitent la région à amplifier. Ainsi, il sera possible de synthétiser deux séquences d'oligonucléotides de 15-30 nucléotides qui agissent comme des démarreurs (amorces) pour la réplification du segment d'ADN. Ces oligonucléotides synthétiques s'hybrident à chaque hélice d'ADN complémentaire, au début et à la fin de la séquence d'ADN à amplifier et fournissent une terminaison 3'OH qui sert de déclencheur pour l'allongement. En présence d'une ADN polymérase thermostable (enzyme) et des désoxynucléoside triphosphates, le segment entre les deux amorces est reproduit sélectivement. La réaction est effectuée dans un tampon, contenant des ions magnésium, qui fournit un environnement chimique approprié pour l'ADN polymérase. La spécificité de la PCR est liée au choix des amorces.

Le processus PCR consiste en une série de cycles successifs, chacun est composé de trois étapes: 1) Dénaturation, généralement, à 93- 95 ° C, pour séparer les deux brins. 2) Hybridation, consiste à l'hybridation des amorces avec l'ADN cible, les températures de cette étape est, en général, comprise entre 50-70 ° C. 3) Elongation, l'ADN polymérase synthétise de nouvelles chaînes de polynucléotides à partir de l'amorce 3' s'étendant le long de l'ADN. La température de cette étape dépend de l'ADN polymérase utilisée. Les polymérases fonctionnent typiquement à environ 72 ° C.

Le principe de la PCR est simple: après la dénaturation de l'ADN, les brins séparés sont exposés à la présence d'un excès des deux amorces. Etant donné, l'excès molaire des amorces, les brins d'ADN se réassocient avec les deux oligonucléotides, plutôt qu'entre eux. Après l'hybridation des amorces, l'ADN polymérase commence à synthétiser deux fragments d'ADN complémentaires à chacun des deux brins d'origine. De cette façon, les produits du premier cycle seront les cibles dans le cycle suivant, le nombre de copies d'ADN double dans chaque cycle jusqu'à ce que le modèle sera amplifié et disponible en quantité suffisante pour se réassocier les uns avec les autres au lieu de s'associer avec les deux oligonucléotides. Après environ 30 cycles, les produits de PCR comprennent, outre l'ADN de départ, des millions de copies de la

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

séquence cible spécifiques tel quelles seront facilement aperçues comme une bande discrète de taille spécifique sur un gel d'agarose.

VII.2.4.2. Technique

Nous avons utilisé la technique PCR pour amplifier la région ITS, la région D2-D3 du gène 28S, et le gène 18S de l'ADN ribosomique. L'amplification de chaque échantillon d'ADN a été effectuée dans un volume final de 100 μ l d'un mélange PCR qui contient

ADN	5 μ l
Buffer (tampon) 5x	20 μ l
Amorce 1 (10 μ M)	2 μ l
Amorce 2 (10 μ M)	2 μ l
MgCl ₂ 25 m M	6 μ l
dNTP 10 m M	2 μ l
Taq (5U/l)	0.3 μ l
H ₂ O	62.7 μ l
Total	100 μl

Tous les ingrédients sont mélangés dans la glace afin que les réactions d'hybridation et d'élongation non spécifiques soient limitées. Les tubes contenant le mélange réactionnel sont soumis à des variations de températures rapides grâce à un thermocycleur suivant le programme suivant :

- Une initiale dénaturation : 94 ° C pour 3 min.
 - Dénaturation: 94 ° C for 50 sec.
 - Hybridation: 55 ° C for 50 sec.
 - Elongation: 72 ° C for 1 min. et 30 sec.
 - Cycle final: 72 ° C for 7 min.
- } 35 cycles

Les amorces utilisées sont rapportées dans Tableau 24.

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Tableau 24: Liste des amorces utilisées pour l'amplification (code, séquence et gène amplifié)

Code de l'amorce	Séquence (5' → 3')	Gène amplifié	Source
TW81	5'-GTTTCCGTAGGTGAACCTGC-3'	région ITS	Skantar et al. (2007)
AB28	5'-ATATGCTTAAGTTCAGCGGGT-3'	région ITS	Skantar et al. (2007)
26Sext	5'-TTTCACTCGCCGTTACTAAGG-3'	région ITS	De Luca et al. (2004) De Luca et Agostinelli (2011)
18Sext	5'-TTGATTACGTCCCTGCCCTTT -3'	région ITS	De Luca et al. (2004) De Luca et Agostinelli (2011)
D2A	5'-ACAAGTACCGTGGGGAAAGTTG-3'	D2D3	Madani et al. (2010)
D3B	5'-TCGGAAGGAACCAGCTACTA-3'	D2D3	Madani et al. (2010)
18SnF	5'-TGGATAACTGTGGTAATTCTAGAGC-3'	18S	Vovlas et al., (2011)
18SnR	5'-TTACGACTTTTGCCCGGTTC-3'	18S	Vovlas et al., (2011)

Dans cette thèse, seulement, les résultats relatifs à la région ITS de l'ADN ribosomique seront présentés.

VII.2.5. Visualisation des fragments d'ADN par électrophorèse sur gel d'Agarose

Après amplification des fragments d'ADN, tous les produits PCR ont été analysés par électrophorèse sur gel 1% agarose/bromure d'éthidium préalablement préparé et visualisés sous UV : On prélève 5µl du produit PCR, on le dépose dans le gel et on laisse migrer. L'ADN est repéré par fluorescence aux ultra-violets après avoir été mis en contact avec le bromure d'éthidium (Voir le protocole de préparation d'un gel d'agarose en annexe 28).

VII.2.6. RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism, ou Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction)

VII.2.6.1. Principe de la RFLP

Le polymorphisme génétique est une variante, double ou multiple, de la séquence génomique présente dans la population avec une fréquence supérieure à 1%. Les polymorphismes peuvent être détectés au niveau du phénotype, lorsque le changement affecte l'expression du gène, au niveau des fragments de restriction lorsque le changement affecte le site cible d'une enzyme de restriction et au niveau de la séquence par analyse de l'ADN directement.

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Des enzymes de restriction particulières reconnaissent des séquences spécifiques dans l'ADN (sites de restriction), généralement, de 4 à 6 nucléotides, et coupent les liaisons phosphodiester de l'ADN à ce niveau, ce qui permet la fragmentation de l'ADN en morceaux. Les fragments obtenus peuvent être séparés par électrophorèse sur gel. En fonction de la taille des fragments obtenus, leur position sur le gel sera différente. Ainsi, on pourra détecter le polymorphisme.

VII.2.6.2. Méthode

La digestion du produit PCR a été faite par les deux enzymes de restriction *Alu I* et *Rsa I* (Skantar et *al.*, 2007). La solution de digestion est la suivante :

ADN	10 µl
Tampon 10x	2 µl
Bsa	0.2 µl
Enzyme (10U / µl)	0.5 µl
H ₂ O	7.3 µl
Total	20 ml

La digestion est effectuée après incubation à 37° C. Ensuite, l'ADN digéré a été séparé par électrophorèse sur gel d'agarose 2.5%/ bromure d'éthidium puis visualisé et photographié sous UV.

VII.2.7. Extraction et purification des produits PCR du gel d'agarose

Les produits PCR ont été purifiés avec le kit NucleoSpin® Extract II (Macherey-Nagel). Après la séparation par électrophorèse sur gel d'agarose 1%, les fragments amplifiés sont découpés en utilisant un scalpel stérile. Le gel d'agarose prélevé (contenant le fragment d'ADN) est pesé, mis dans un tube et solubilisé en ajoutant 200 µl de tampon NT1 pour chaque 100 mg de gel à 50 ° C pendant 5 à 10 minutes. Les échantillons sont chargés dans des colonnes NucleoSpin Gel contenant une membrane de silice, et centrifugés pendant 1min à 11000xg. Les sels chaotropiques du tampon NT1 permettent à l'ADN de se fixer à la colonne de silice alors que les contaminants seront éliminés. Ensuite, deux lavages successifs ont été effectués à la membrane de la colonne de silice en additionnant 700 µl de tampon NT3, contenant de l'éthanol

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

et en centrifugeant de nouveau pendant 30 secondes à 11000 xg. Ces étapes permettent l'élimination des sels chaotropiques et autres contaminants protéiques. Pour éliminer toute trace de l'éthanol, la colonne est centrifugée à nouveau à 11000 xg pour 2 minutes puis séchée à 70°C pendant 5mn. L'ADN lié à la membrane est élué et retiré après l'addition de H₂O (15-30µl).

VII.2.8. Clonage des produits PCR

VII.2.8.1. Principe du clonage

Le clonage moléculaire se réfère à la production de molécules toutes égales, appelées clones. C'est une technique qui permet d'amplifier sélectivement un fragment d'ADN d'intérêt inséré dans une autre molécule d'ADN, qui agit comme un vecteur (plasmide) qui sont des molécules d'ADN circulaires capables de se répliquer dans les cellules hôtes (la bactérie *Escherichia coli*) en maintenant l'ADN au cours des divisions cellulaires. Nous avons utilisé le kit de clonage pGEM-T Easy système de vecteur II (Promega).

VII.2.8.2. Ligature dans un vecteur

Le fragment à cloner a été inséré au vecteur pGEM (Figure 72) à l'aide de l'ADN ligase. Ce vecteur de clonage possède un gène de résistance à l'ampicilline, par conséquent, la croissance sur des milieux contenant cet antibiotique sélectionne positivement les cellules hôtes contenant ce plasmide (*Escherichia coli*). En outre, il possède le gène lacZ codant pour la β -galactosidase. Ce gène contient le MCS (site de clonage multiple), de sorte, que quand il y'a insertion du fragment d'ADN à l'intérieur de cette séquence, le gène lacZ sera inactivé et ne pourra pas coder pour la β -galactosidase. C'est un bon marqueur parce qu'il facilite la détection des cellules recombinantes (colonies blanches/bleu). Grâce à l'utilisation de ce kit, il est également possible de cloner des fragments de produits PCR exploitant l'activité de «transférase terminale» du Taq polymérase. Certains Taq ajoutent des deoxiadenines aux extrémités 3' des produits PCR. De cette façon, le fragment amplifié aura une extrémité 3' A-saillie. Le fragment PCR peut être inséré dans le vecteur pGEM qui présente également à l'extrémité 3' un T-saillie.

La solution de ligature contient

2X Buffer (tampon)	5 µl
Vecteur pGEM (50ng/µl)	1 µl
T ₄ DNA-ligase (3U/µl)	1 µl
Fragment PCR (AND amplifié)	3 µl

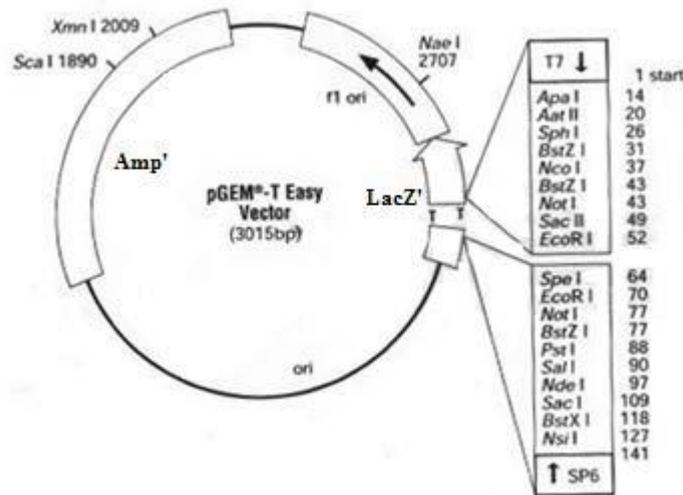


Figure 72 : Le vecteur pGEM T-Easy. *lacZ* : gène du peptide α de la β -galactosidase ; *Amp^r* : gène de résistance à l'ampicilline.

VII.2.8.3. Transformation

L'inclusion d'une molécule d'ADN exogène dans les cellules bactériennes compétentes d'accueil est appelée transformation. Dans notre étude, nous avons utilisé des cellules d'*Escherichia coli* (JM109) stockés à -80°C . Celles-ci ont été rendues chimio-compétentes par un traitement chimique qui a fragilisé leurs membranes. Au moment du traitement, les cellules compétentes ont été décongelées, 5 μl du produit de ligation (ADN inséré dans le plasmide) ont été ajoutés à un tube contenant 40 μl de la suspension bactérienne et incubés pendant 30 min sur de la glace et après, nous avons appliqué un choc thermique, à 42°C pendant 50 sec. ce qui permet l'entrée du vecteur dans la cellule bactérienne. Un milieu de culture LB (950 μl) est additionné aux bactéries transformées pour permettre leur multiplication pendant 1 heure à 37°C avec agitation constante à une vitesse de 160 tours par minute. Ensuite, les bactéries transformées ont été étalées sur des boîtes de Pétri contenant un milieu de culture solide (LB) auquel on a ajouté de l'ampicilline, 20 μl du substrat chromogène X-Gal (50 mg / ml) et 100 μl (100 mM) de l'inducteur de d'IPTG. Les plaques ont été placées à 37°C pendant une nuit. Le lendemain, des centaines de colonies sont observées, certaines étaient blanches et donc recombinantes, d'autres colonies étaient bleues donc négatives. L'insert (fragment d'ADN) s'intègre au niveau du site de polyclonage situé entre le gène LacZ et la séquence codante de la betaGal. Si l'insert est présent, le gène ne sera plus exprimé et la réaction d'hydrolyse de l'X-Gal

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

par la β -galactosidase n'aura pas lieu. Par conséquent, les bactéries recombinantes qui ont intégré le vecteur contenant l'insert seront blanches et celles qui ne contiennent pas le vecteur seront bleues.

Composition d'1l de milieu de culture LB (bouillon lysogène).

- 10g Tryptone
- 5g extrait de levure
- 5g Nacl
- Ajuster le pH à 7.

Pour préparer le milieu LB solide, il faut ajouter 15g d'Agar

VII.2.8.4. Extraction de l'ADN plasmidique

L'extraction de l'ADN plasmidique est effectuée avec le kit QIAprep Spin Miniprep (Qiagen) en suivant les recommandations du fournisseur : 1 à 5 ml de la culture bactérienne a été sédimenté pendant une nuit par centrifugation à > 8000 rpm pendant 3 minutes à température ambiante. Les cellules bactériennes ont été remises en suspension dans 250 μ l de tampon P1 (tampon de remise en suspension) et ensuite, dans 250 μ l de tampon P2 (tampon de lyse). Le lysat a été mélangé en retournant le tube 4-6 fois. Ensuite, 350 μ l de tampon N3 sont additionnés et les solutions ont été mélangées en renversant le tube 4-6 fois. L'échantillon a été centrifugé pendant 10 minutes à 13 000 tours par minute. Le surnageant a été chargé dans la colonne de centrifugation QIAprep spin par décantation puis on centrifuge pendant 1 minute. Le filtrat a été éliminé et la colonne de préparation de spin QIA a été lavée en ajoutant 500 μ l de tampon PB. La colonne a été centrifugée pendant 1 min à la vitesse maximale puis lavée à nouveau par addition de 750 μ l de tampon PE. Après une centrifugation pendant 1 min à la vitesse maximale, la colonne a été placée dans un tube de 1,5 ml propre. Pour éluer l'ADN, 50 μ l de tampon EB (10 mM Tris Cl, pH 8,5) sont ajoutés au centre de la colonne QIAprep spin, puis une centrifugation à la vitesse maximale est effectuée.

La figure 73 résume les étapes du clonage depuis la ligature jusqu'à l'extraction de l'ADN plasmidique.

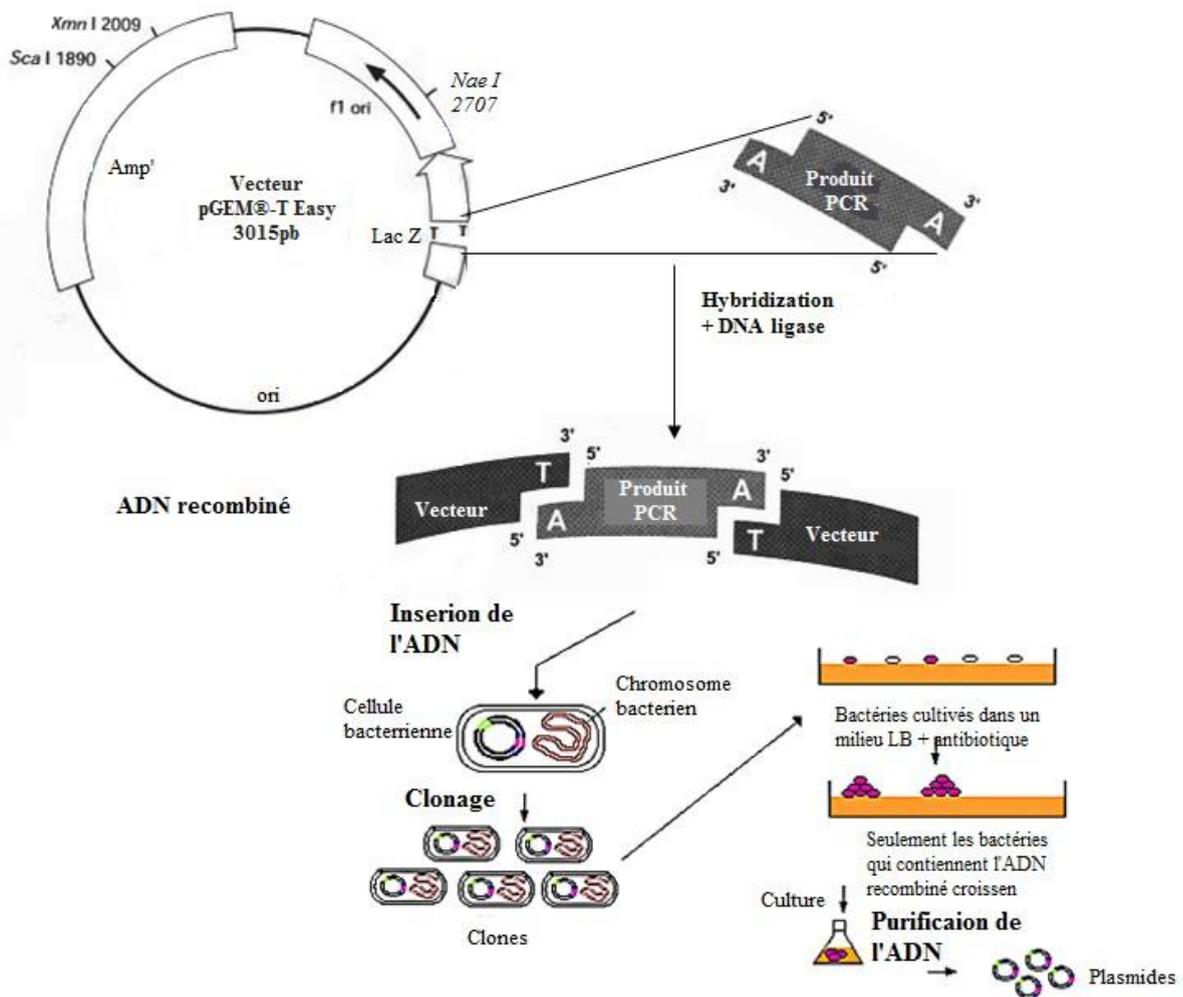


Figure 73 : Les étapes du clonage (ligature, transformation, clonage proprement dit et extraction de l'ADN plasmidique).

VII.2.9. Séquençage et analyse des séquences

Les produits PCR purifiés et clonés sont séquencés par le laboratoire (MWG-Eurofin, Allemagne). Les résultats de ce séquençage sont analysés et comparés avec les résultats d'autres chercheurs publiés dans la banque de données Gen Bank.

L'analyse phylogénétique est effectuée à l'aide du logiciel BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) afin de confirmer l'origine des espèces de nématodes (Altschul *et al.*, 1990). Les nouvelles séquences de la région ITS de l'ADN ribosomique ont été alignées en utilisant le programme ClustalW (Larkin *et al.*, 2007) avec des séquences de gènes correspondants de *G. pallida*, *G. rostochiensis* et autres espèces de *Globodera* présentes dans la base de données. Les alignements de séquences ont été édités manuellement à l'aide BioEdit en

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

vue d'améliorer l'alignement multiple. Les Taxons hors groupe ont été choisis en fonction des résultats publiés précédemment. Les arbres phylogénétiques, obtenus pour l'ensemble de données, ont été établis avec différentes méthodes Neighbour-Joining (NJ), Minimum evolution (ME), Maximum Likelihood (ML) et Maximum Parsimony (MP) en utilisant le logiciel MEGA version 6 (Tamura et *al.*, 2013). Aucun changement significatif de la typologie n'est observé, donc un seul arbre (ML) sera présenté dans la partie résultats. Les phylogrames ont été bootstrappés 1000 fois pour évaluer le degré de soutien à la ramification phylogénétique (solidité de chaque nœud) indiqué par l'arbre optimal pour chaque méthode. Les séquences nouvellement obtenues ont été soumises à GenBank pour obtenir les numéros d'accès correspondants.

VII.3. Résultats

VII.3.1. PCR/ RFLP

L'amplification de la région ITS de l'ADN ribosomique de *G. pallida* et de *G. rostochiensis* a produit des fragments uniques de 1188 pb et 1190 pb, respectivement. La figure 74 présente un exemple de produits PCR (*G. pallida* d'origine Mekhatria et *G. rostochiensis* d'origine de Rouina).

Le diagnostic des profils PCR-ITS-RFLP pour les deux espèces est présenté dans la figure 75. La digestion des produits PCR avec les enzymes AluI et RsaI des différentes populations a séparé clairement les populations de *G. rostochiensis* (61 et 64 originaires de Rouina, 72 originaire d'Arib) de celles de *G. pallida* (34 : originaire d'Ain Defla, 44 : originaire d'El Amra, 69 : originaire d'Arib, 75 : originaire de Mekhatria). Les tailles approximatives des fragments de restriction des régions de l'ITS de l'ADNr de *G. rostochiensis* sont de 380, 362, 136, 149, 163 pb avec Alu I et de 640, 221, 119, 179 pb avec Rsa I. Quant aux fragments obtenus par la digestion de la même région de l'ADN de *G. pallida*, ils sont de 511, 382, 162, 145 pb avec Alu I pour les populations d'Arib et de Mekhatria alors que, pour les populations d'Ain Defla et d'El Amra, seulement les deux premières bandes sont obtenues ce qui serait dû à une digestion incomplète ou au changement des amorces utilisées pour l'amplification. Avec l'enzyme Rsa I, des fraguements de 639 et 522 pb sont obtenus avec la population d'Arib, les mêmes fraguements sont obtenus pour la population de Mekhatria, mais des bandes supplémentaires sont observées sur le gel. Une légère variabilité est notée pour les populations d'Ain Defla et El Amra liée au changement des amorces d'amplification. La présence de

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

quelques bandes supplémentaires dans le profil de *G. pallida* pourrait s'expliquer par la présence d'haplotypes de l'ITS.

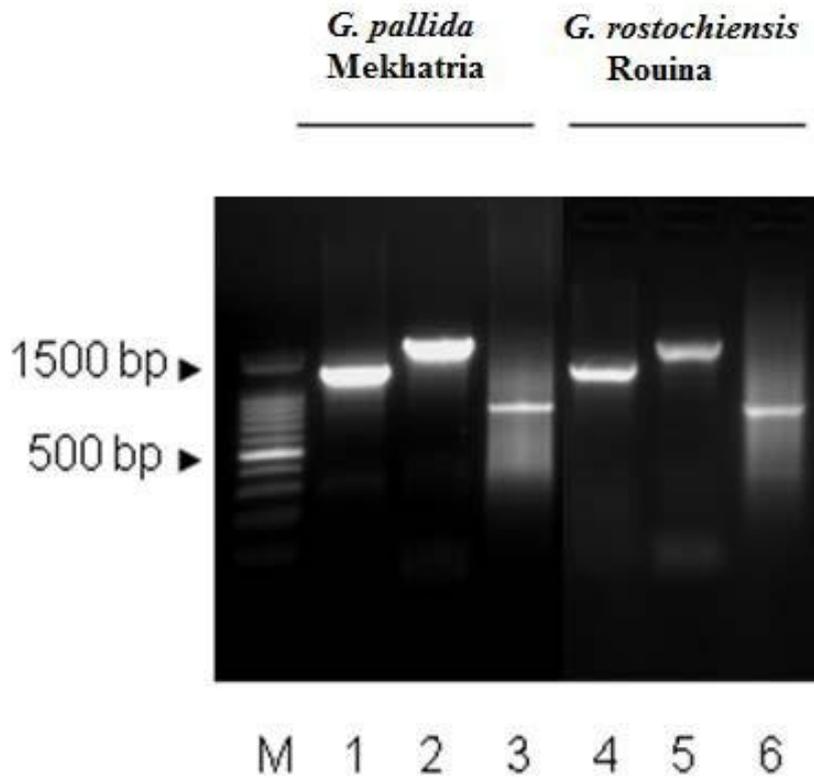


Figure 74 : Produit d'amplification (PCR) de l'ADNr de *G. pallida* et *G. rostochiensis*.

M : marqueur moléculaire 100 pb, 1 et 4 : produits PCR de l'ITS, 2 et 5 : produits PCR du gène 18S, 3 et 6 : produits PCR des segments d'expansion D2D3.

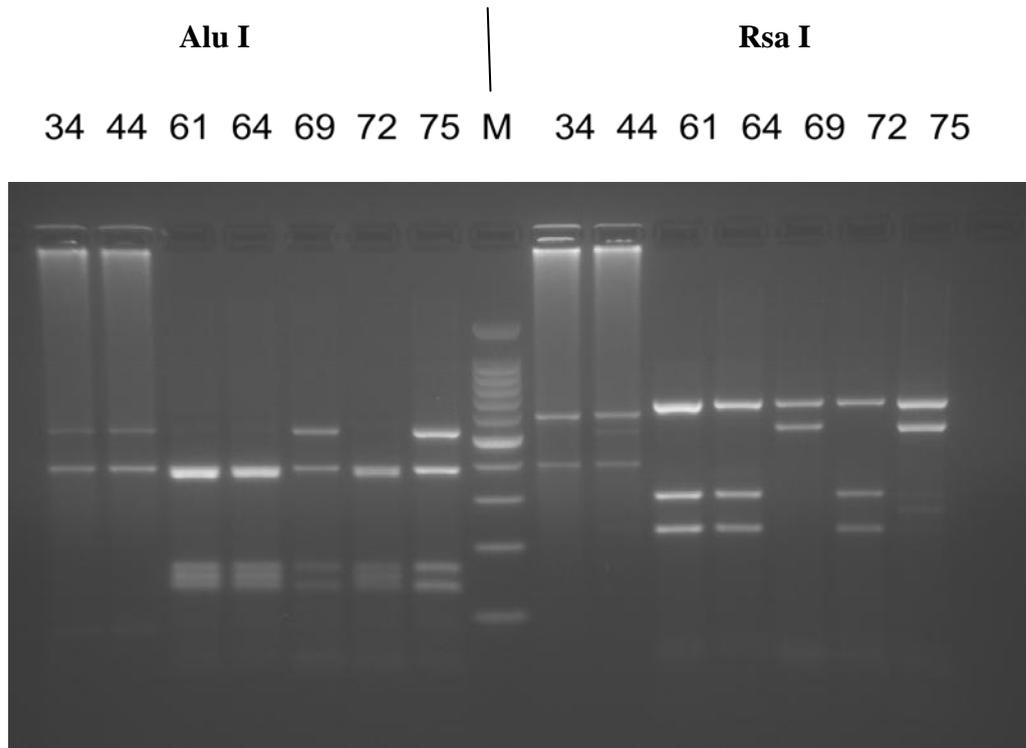


Figure 75 : Patrons PCR-RFLP résultant de la digestion par les deux endonucléases *Alu I* et *Rsa I* des produits ITS-ADNr amplifiés des populations des nématodes à kystes de la pomme terre *G. pallida* ADG3 d'Ain Defla (34), EAG2 d'El Amra (44), ARG d'Arib (69), MEG de Mekhatria (75) et celles de *G. rostochiensis* de Rouina RG2 (61) et RG3 (64) et MEG de Mekhatia (72). M: marqueur moléculaire de taille, 100 bp ADN.

VII.3.2. Analyse de la variabilité génétique intraspécifique de *G. pallida* et de *G. rostochiensis*

L'alignement de 53 séquences dont 46 sont de *G. pallida* et *G. rostochiensis* et parmi lesquelles 11 étaient nouvellement obtenues durant cette étude (6 de *G. pallida* et 5 de *G. rostochiensis*), a révélé des variations intraspécifiques entre les populations Algériennes d'origine d'Ain Defla. Pour avoir une idée sur la variabilité intraspécifique des deux espèces, nous avons comparé les populations de *G. pallida* d'El Amra, d'Ain Defla et de Mekhatria à celle d'Arib et les populations de *G. rostochiensis* de Rouina à la population *G. rostochiensis* d'Arib.

Pour *G. pallida*, les variations entre 6 séquences sont de 9-22 nucléotides. Quant à *G. rostochiensis*, les variations (5 séquences) sont de 11 à 20 nucléotides. Pour *G. pallida*, la population la plus variable était *G. pallida* originaire de Mekhatria MEG. Nous remarquons aussi une légère variation entre l'ITS des clones d'une même population. Pour *G. pallida*, les deux

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

clones 17_44 et 18_44 de la population *G. pallida* d'El Amra EAG2 différent de 11 et 9 nucléotides respectivement par rapport à la population de *G. pallida* d'Arib. De même, en comparant les deux clones 29_60 et 30_60 de la population RG2 de Rouina par rapport à la population de *G. rostochiensis* d'Arib, on remarque que leur variabilité est différente puisque le premier clone présente 11 nucléotides différents et le deuxième a 15 nucléotides différents. La même observation est faite pour les deux clones 34_66 et 35_66 de la population RG3 de Rouina (Tableaux 25 et 26).

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Tableau 25: Pourcentage de similitude de la région ITS entre les populations algériennes de *Globodera pallida*. La variabilité des nucléotides (nt) est indiquée entre parenthèses

	<i>G. pallida</i> 28_68 Arib (ARG)	<i>G. pallida</i> 24_34 Ain Defla (ADG3) Clone I	<i>G. pallida</i> 18_44 El Amra (EAG2) Clone 1	<i>G. pallida</i> 17_44 El Amra (EAG2) Clone 2	<i>G. pallida</i> 22_34 Ain Defla (ADG3) Clone 2	<i>G. pallida</i> 38_75 Mekhatria (MEG)
<i>G. pallida</i> 28_68 Arib	100%	99% (11 nt différents)	99 % (11 nt différents)	99 % (9 nt différents)	99 % (11 nt différents)	98 % (22 nt différents)

Tableau 26: Pourcentage de similitude de la région ITS parmi les populations algériennes de *Globodera rostochiensis*. La variabilité des nucléotides (nt) est indiquée entre parenthèses

	<i>G. rostochiensis</i> 31_72 Arib	<i>G. rostochiensis</i> 29_60 Rouina RG2 clone 1	<i>G. rostochiensis</i> 31_60 Rouina RG2 clone 2	<i>G. rostochiensis</i> 34_66 Rouina RG3 clone 1	<i>G. rostochiensis</i> 35_66 Rouina RG3 clone 2
<i>G. rostochiensis</i> 31_72 Arib	100%	99 % (11 nt différent)	99% (15 nt différent)	99 % (18 nt différent)	99 % (14 nt différent)

VII.3.3. Etude phylogénétique

Les relations phylogénétiques de *G. pallida* et *G. rostochiensis* sont déduites par des analyses des séquences de la région ITS de nos populations et des espèces de nématodes à kystes les plus proches de *G. pallida* et *G. rostochiensis* à savoir (*G. mexicana*, *G. tabacum*) et en introduisant deux espèces appartenant au genre *Globodera* (*G. artemisia* et *G. capensis*) comme groupes externes (Figure 76) en utilisant différentes méthodes Neighbour-Joining (NJ), Minimum evolution (ME), Maximum Likelihood (ML) et Maximum Parsimony (MP). Les arbres obtenus par les différentes méthodes présentent des topologies similaires, donc, seulement, l'arbre phylogénétique résultant de la méthode (ML) est présenté dans la figure 77. L'arbre (ML) contient 9 groupes : le premier, est construit par les populations algériennes de *G. pallida* d'origine d'Ain Defla (Algérie) : 26_68 d'origine d'Arib, 22_34 et 24_34 d'origine d'Ain Defla, 17_44 et 18_44 d'origine d'El Amra et trois autres populations ayant des origines d'Italie, Canada et Idaho (USA). Le deuxième groupe est formé par des populations de *G. pallida* d'Europe, Pérou et Australie, le troisième groupe contient une population de *G. mexicana* d'origine de Pérou et de Chili, le quatrième groupe est constitué de *G. pallida* d'origine Algérienne (38_75 de Mekhatria) et des populations de *G. pallida* d'Amérique du sud (Chili et Pérou). Le cinquième groupe est formé de deux populations d'origine du Pérou qui se trouvent à une position basale par rapport à toutes les populations de *G. pallida* utilisées pour cette analyse. *G. tabacum* est classée dans le sixième groupe, elle est étroitement liée à *G. rostochiensis*. Quant au septième groupe, il est formé par *G. rostochiensis* de la Bolivie comme une espèce sœur de toutes les autres *G. rostochiensis*. Le huitième groupe est constitué de toutes les populations algériennes de *G. rostochiensis* (29_60 et 31_60 : d'origine de Rouina RG2, 34_66 et 35_66: d'origine de Rouina RG3 et 31_72 d'origine d'Arib ARG), d'Europe et de Canada. Le neuvième groupe contient les populations de *G. artemisia* et *G. capensis* comme groupes externes.

Les populations algériennes de *G. rostochiensis* sont toutes classées dans un même groupe. Cependant, les populations de *G. pallida* sont classées dans deux groupes. En effet, toutes les populations d'origine d'Ain Defla, El Amra et Arib sont classées dans le groupe I, alors que, la population de *G. pallida* de Mekhatria est classée dans Le groupe IV qui semble phylogénétiquement différent des autres groupes.

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

```

G. capensis          GACGGACCATATGCCCGTTGGGTTTTTTGGGCTGGCACAT
G. artemisia         ACGGACACATGCCCGCTG-----GTTTTGGGCTGGCACAT
G. mexicana          ACGGACACATGCCCACTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. mexicana          ACGGACACATGCCCACTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACATATGCCCACTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACATATGCCCACTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCTCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACATATGCCCACTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCCGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCCCGCTG-----TGCATTTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACATATGCCCACTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. rostocliensis    ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. mexlcana          ACGGACACATGCCCACTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. mexicana          ACGGACACATGCCCGCTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. pallida           ACGGACACATGCCCGCTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. tabacum           ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. tabacum           ACGGACACATGCCCGCTG-----TGTATTGGCTGGCACAT
G. pallida           ACGGACACATGCCCGCTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. pallida           ACGGACACATGCCCGCTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. pallida           ACGGACACATGCCCGCTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT
G. pallida           ACGGACACATGCCCGCTA-----TGTCTGGGCTGGCACAT
G. pallida           ACGGACACATGCCCGCTA-----TGTTTTGGGCTGGCACAT

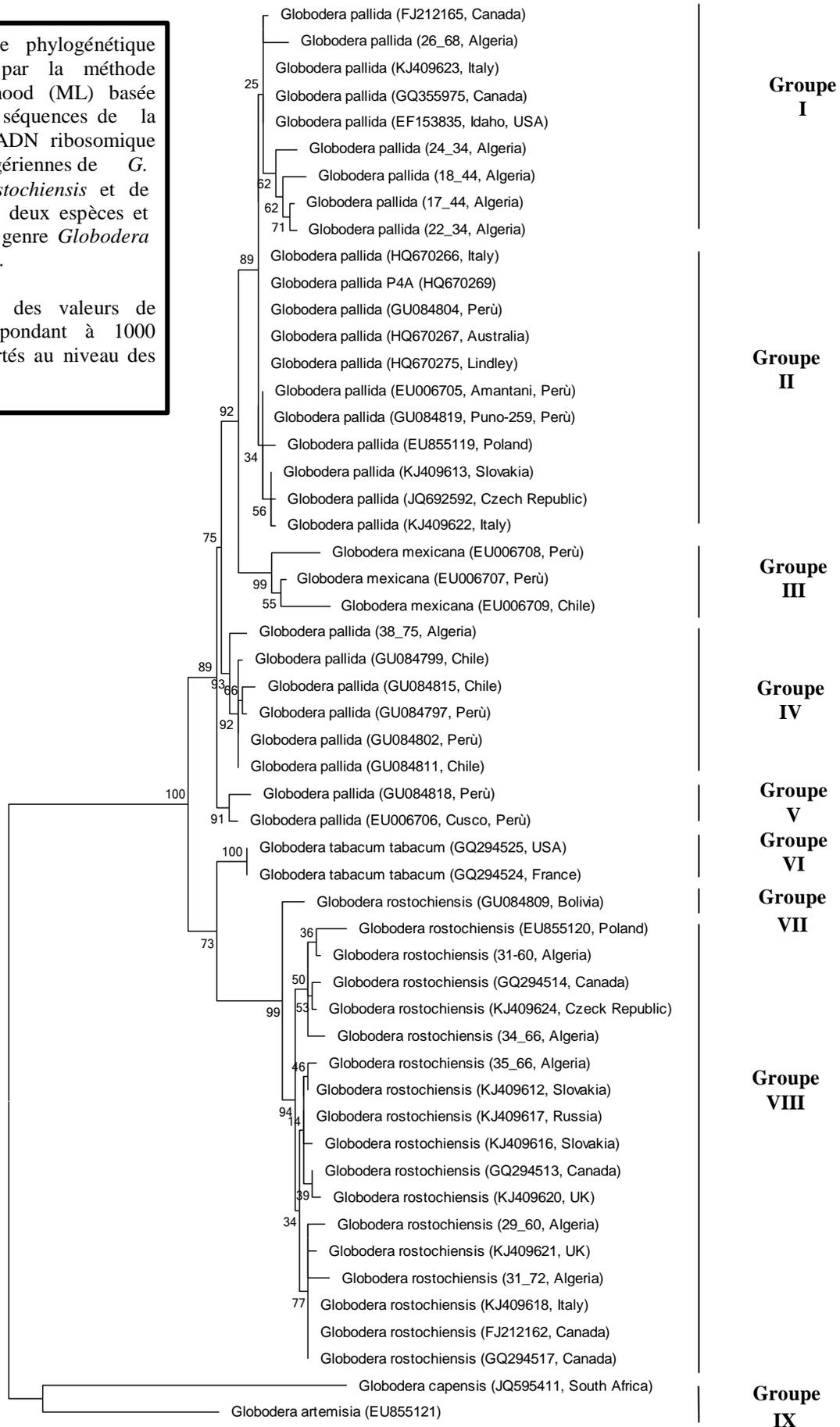
```

Figure 76 : Alignement multiple des séquences des différentes populations utilisées pour l'étude phylogénétique.

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Figure 77: Arbre phylogénétique (rDNA) obtenu par la méthode Maximum Likelihood (ML) basée sur l'analyse de séquences de la région ITS de l'ADN ribosomique des populations algériennes de *G. pallida* et *G. rostochiensis* et de séquences de ces deux espèces et autres espèces du genre *Globodera* issues de GenBank.

Les pourcentages des valeurs de bootstrop correspondant à 1000 répliques sont reportés au niveau des branches.



0,01

VII.4. Discussion et conclusion

Cette étude est originale puisqu'il s'agit de la première caractérisation moléculaire de populations de nématodes à kystes de la pomme de terre en Algérie. Les analyses moléculaires ont été effectuées pour confirmer l'identité des espèces de *Globodera* identifiées morphologiquement mais surtout pour obtenir des informations plus précises sur le polymorphisme au sein des populations algériennes des espèces de *G. pallida* et de *G. rostochiensis* et avoir une idée sur leurs origines.

La digestion des produits PCR (ADN amplifié) avec les enzymes Alu I et Rsa I a clairement discriminé les populations algériennes (d'origine d'Ain Defla) de *G. pallida* et les populations de *G. pallida* d'Amérique du Sud (Grenier et *al.*, 2000 ; Subbotin et *al.*, 2002 ; Madani et *al.*, 2010). Les enzymes Rsa I et Alu I ont produit un profil de restriction pour les populations algériennes de *G. pallida* identique aux profils correspondant à *G. pallida* de l'Idaho (USA) (Skantar et *al.*, 2007). Les profils obtenus par ces mêmes enzymes pour *G. rostochiensis* sont identiques à ceux de *G. rostochiensis* d'Amérique du Nord (Skantar et *al.*, 2007).

Ces deux enzymes ont produit les mêmes profils de restriction pour *G. pallida* et *G. mexicana* en suggérant que ces enzymes ne peuvent pas distinguer entre ces deux espèces (Skantar et *al.*, 2007), sachant que ces dernières sont génétiquement proches, ce qui a été confirmé par leurs positions dans l'arbre phylogénétique établi dans notre étude.

La comparaison des profils de *G. pallida* de l'Algérie (Ain Defla) avec d'autres profils obtenus dans d'autres études avec les mêmes enzymes (Fleming et Turner, 1998 ; Sirca et *al.*, 2010) a révélé la présence de bandes supplémentaires (haplotypes de l'ITS) ce qui peut résulter d'un niveau élevé d'hétérogénéité des gènes ADNr ou de la présence d'un hybride naturel entre les deux espèces au sein d'un seul échantillon surtout que dans les régions géographiques caractérisées dans cette étude *G. pallida* et *G. rostochiensis* ont été trouvées dans des populations mixtes. Cette hypothèse est supportée par Skantar et *al.* (2007) qui ont rapporté la possibilité de l'existence de populations génétiquement intermédiaires.

Plantard et *al.* (2008) ont indiqué que la grande diversité génétique des NKPT de l'Amérique du sud serait le résultat de mélange des populations en transportant la pomme terre pendant des siècles le long de la route de l'Inca.

Le nombre d'enzymes utilisés dans notre étude est réduit. Néanmoins, les deux enzymes Alu I et Rsa I ont pu discriminer les deux espèces *G. pallida* et *G. rostochiensis* et

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

même révéler une variabilité de la population *G. pallida* de Mekhatria, ce qui a été confirmé par l'analyse phylogénétique. L'utilisation d'un plus grand nombre d'enzymes de restriction pour l'étude des populations pourrait révéler des variabilités intraspécifiques éventuelles des populations algériennes.

En analysant la position du groupe des populations de l'Amérique de Sud (Pérou et Chili), dans lequel est classée aussi *G. pallida* isolée en Algérie (Mekhatria, Ain Defla), dans l'arbre phylogénétique, on peut soutenir l'hypothèse que *G. pallida* peut être une espèce complexe et la possibilité de l'existence d'une autre espèce de nématodes à kystes de la pomme de terre à Mekhatria n'est pas à exclure. Sachant que cette hypothèse a été émise par Grenier *et al.* (2001 ; 2010) pour les populations d'Amérique de sud (utilisées pour établir notre arbre phylogénétique et classées dans le même groupe avec la population de Mekhatria). Elle a été soutenue par Picard *et al.* (2007), Plantard *et al.* (2008) et Subbotin *et al.* (2000 ; 2011). Grenier *et al.* (2001) ont indiqué la nécessité d'augmenter les données moléculaires et des études biologiques et morphologiques avant d'adresser une exacte position taxinomique des populations d'Amérique de Sud. Grenier *et al.* (2010) ont suggéré que l'élévation des montagnes des Andes a déclenché une adaptation biotique des nématodes phytoparasites des Solanacées aux radiations, ce qui représente le facteur clé de l'évolution et la spécialisation des espèces de *Globodera*. Lax *et al.* (2014) ont rapporté que la diversité de l'écosystème de cette région serait à l'origine d'une diversité des espèces du genre *Globodera* beaucoup plus importante que celle décrite par Grenier *et al.* (2010).

Des études récentes conduites en combinant les techniques morphologiques et moléculaires, ont révélé l'existence d'une nouvelle espèce de nématodes à kystes à savoir *Globodera ellingtonae* en Oregon (U.S.A.), puis des essais préliminaires sous serre ont révélé que *G. ellingtonae* peut se reproduire sur *Solanum tuberosum* mais ils n'ont pas confirmé si la pomme de terre est un hôte de cette espèce dans les conditions naturelles (Handoo *et al.*, 2012). En se basant sur des données morphométriques et l'analyse de la région ITS et les segments d'expansions D2D3 du gène 28S de l'ADN ribosomique ainsi que le gène Heat-shock protein Hsp90 de l'ADN nucléaire, Lax *et al.* (2014) ont confirmé que la pomme de terre est naturellement parasitée par *G. ellingtonae* puisque cette espèce a été trouvée sur des racines de la pomme de terre andines dans des champs du Nord de l'Argentine. Ainsi, ces auteurs ont conclu que cette espèce est une autre espèce de NKPT.

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

D'autres investigations doivent être conduites en utilisant d'autres marqueurs moléculaires pour apporter une clarification sur la position taxonomique de la population de Mekhatria (identifiée comme *G. pallida*). Des études sont en cours en utilisant le gène 18S et les segments d'expansion D2D3 de gène 28S de l'ADN ribosomique. Cependant, l'analyse de l'ADN mitochondrial et l'ADN nucléaire et l'introduction de *G. ellingtonae* dans l'étude phylogénétique pourra soulever le doute sur l'identité de cette population et conclure s'il s'agit d'une population très variable de *G. pallida* ou d'une espèce différente. L'ADN mitochondrial a été utilisé dans plusieurs études pour l'identification de *G. pallida* (Plantard et al., 2008 ; Pylypenko et al., 2008 ; Armstrong et al., 2000 ; Madani et al., 2010 ; Hoolahan et al., 2012). De même, l'ADN nucléaire particulièrement le gène Hsp90 est très utilisé dans les études moléculaires des nématodes (Skantar et Carta, 2007). Des investigations ont été conduites en se basant sur ce gène ayant pour objet l'identification et la phylogénie des espèces de NKPT (Madani et al., 2011 ; Lax et al., 2014). Il faut aussi combiner ces méthodes avec une étude morphométrique en utilisant un nombre plus important de kystes, de juvéniles et de mâles de cette population.

Dans la présente étude, les séquences récemment obtenues de *G. pallida* d'origine d'Ain Defla, (Algérie) sont distribuées dans deux clades et ceci supporte l'hypothèse de la multi-introduction de *G. pallida* dans l'Algérie à partir de l'Amérique du sud (Pérou et Chili), de l'Europe et de l'Amérique du nord (Canada, USA). Cependant, la diversité des séquences de l'ITS, des populations algériennes de *G. rostochiensis* (provenant de Rouina et d'Arib) et des populations originaires de plusieurs pays du monde, était légèrement moins importante que celle des populations de *G. pallida*. Dans l'arbre phylogénétique, toutes les populations de *G. rostochiensis* à origine géographique différente ont formé un même groupe. Ainsi, les rapports entre les séquences de *G. rostochiensis* ne sont pas résolus. Cependant, il paraît que la présence de *G. rostochiensis* en Algérie n'est pas le résultat d'importation directe de pomme de terre infestée d'Amérique latine, mais c'est plus possible qu'un pays de l'Europe ou le Canada fût le "hôte de la transition". Hlaoua et al. (2008) ont rapporté que les deux espèces de nématodes à kystes *G. pallida* et *G. rostochiensis* de la pomme de terre sont introduites en Tunisie via les pays européens. Ils ont supposé que cela remonte à la période de colonisation, puis la situation s'est empirée plus tard par les procédures d'importation de semences d'Europe. L'application des procédures de quarantaines standards aux frontières est la clé pour prévenir l'introduction de ces parasites et des contrôles réguliers sont nécessaires pour lutter contre ceux qui sont déjà établis.

Chapitre VII : Caractérisation moléculaire de quelques populations de nématodes à kystes de la pomme de terre de la région d'Ain Defla.

Dans cette étude, peu de populations étaient analysées, il serait intéressant d'augmenter le nombre de populations et introduire des populations provenant de différentes régions productrices de pomme de terre, voir, de différents étages bioclimatiques afin d'évaluer le polyphorisme au sein des populations algériennes de nématodes à kystes de la pomme de terre et confirmer les résultats relatifs à leur origine .

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude est une approche à une lutte intégrée contre les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *G. pallida* dans la plaine du Haut-Chellif située dans la wilaya d'Ain Defla. La lutte contre ces nématodes nécessite l'établissement d'une cartographie de leur répartition et la connaissance des facteurs qui régissent leur développement. Pour ce faire, les surveillances et les prospections régulières sont essentielles pour détecter les zones infestées.

L'étude de la distribution géographique et l'évaluation de l'état d'infestation des différentes parcelles par ces parasites a révélé que l'infestation est cantonnée dans quelques régions puisqu'ils ont été détectés sous forme de kystes viables seulement dans six communes des quatorze étudiées à savoir Rouina, El Amra, Ain Defla, Mekhatria, Arib et El Attaf. Ces communes sont parmi les plus productrices de la pomme de terre de cette wilaya. La fréquence de l'infestation dans la région d'étude est de 22,22% et la fréquence d'infestation par commune la plus élevée est de 83,33% (signalée à Rouina).

De même, cette étude a montré une différence entre les degrés d'infestation des parcelles au sein de la même commune et une différence d'infestation entre les différentes communes. Dans quelques parcelles situées à Ain Defla, Rouina et Arib, le seuil de nuisibilité (estimé à 10 L2 /g du sol) a été atteint voir même dépassé. Le degré d'infestation le plus élevé a été enregistré dans une parcelle de Rouina avec 18,6 œufs+L2/ g du sol. Dans d'autres parcelles (quelques parcelles d' El Amra, El Attaf et Mekhatria), où des kystes viables de ce parasite sont détectés, ce seuil n'est pas atteint.

Dans les huit autres communes étudiées, le parasite est détecté sous forme de kystes vides, les parcelles prospectées dans ces zones ont été considérées indemnes. Cependant, d'autres échantillonnages doivent être effectués dans ces mêmes parcelles à différentes périodes de l'année afin de confirmer ces résultats.

Dans les régions où le parasite a été détecté, plusieurs facteurs ont contribué à son développement : le type de rotation binaire (pomme de terre-céréales), souvent appliquée dans les parcelles prospectées, ne convient pas à maîtriser ce groupe de parasites qui sont aptes à se conserver dans le sol pendant plusieurs années. De même, la variété Spunta, la plus utilisée dans ces parcelles, est sensible vis-à-vis de ces nématodes. L'interaction de ces facteurs avec des facteurs environnementaux (climatiques et édaphiques) serait la cause de la différence de l'état d'infestation entre les différentes localités prospectées.

Conclusion générale

Une investigation a été menée dans trois localités de la région d'Ain Defla sur la distribution verticale des nématodes à kystes de la pomme de terre dans le sol pendant deux stades de développement de la culture de la pomme de terre (levée et maturation). Les résultats obtenus ont montré que pendant le stade levée, le nombre de kystes collectés dans les différents sites étaient significativement différents. Cependant, aucune différence n'est notée pour le nombre de kystes collectés dans les différentes profondeurs du sol au sein de la même parcelle. Pendant le stade maturation, le nombre de kystes collectés était considérablement différent dans les sites prospectés. De même, nous avons noté une variabilité du nombre de kystes collectés dans les différentes profondeurs du sol au sein de la même parcelle. Cependant, la distribution des ces parasites dans le profil du sol est différente d'une parcelle à une autre. Pour contribuer à l'étude de l'influence des facteurs édaphiques sur la distribution verticale des kystes dans le sol, deux facteurs étaient retenus (pH et taux de calcaire), cependant, cette étude n'a pas montré une relation directe entre le pH du sol et le taux du calcaire total (% CaCo₃) avec la distribution verticale des kystes de NKPTs dans les trois sites.

Les résultats de l'enquête réalisée auprès des services spécialisés dans la lutte contre les ennemis des cultures (SRPV de Chlef) ont révélé qu'une certaine volonté existe chez les responsables de cet organisme et les responsables de la DSA (Direction des Services Agricoles) pour limiter l'étendue de ces parasites. En effet, durant chaque campagne agricole, des échantillonnages sont effectués dans plusieurs exploitations agricoles, particulièrement, dans les parcelles destinées à la multiplication de semences. Des analyses nématologiques sont effectuées sur des échantillons du sol et sur des tubercules de pomme de terre. Cependant, les données disponibles ne sont pas suffisantes pour conclure sur l'importance de l'infestation dans cette wilaya vu que le nombre d'échantillons analysés pendant quelques campagnes agricoles est faible comparativement à l'importance de cette culture dans cette wilaya. De même, faute de moyens, les analyses nématologiques réalisées se limitent à la mise en évidence de la présence et l'absence de ces nématodes sans la détermination des espèces malgré l'importance de l'identification de l'espèce présente dans un champ pour établir une stratégie de lutte.

L'enquête réalisée auprès des agriculteurs a montré un manque de performance des services de vulgarisation et de conseil agricoles concernant ces parasites et leur importance économique. Les agriculteurs ne sont pas aidés de manière adéquate puisqu'on a noté une méconnaissance de la majorité des agriculteurs de ces parasites (leurs symptômes, dégâts ou les mesures qui doivent être entreprises pour prévenir leur installation). Le mode de conduite de la culture de pomme de terre dans la majorité des exploitations enquêtées est très favorable au développement de ces parasites. Ces producteurs doivent être soutenus pour pouvoir améliorer

leurs connaissances et leurs compétences par des campagnes de sensibilisation régulières pour prévenir la pullulation de ces parasites et mettre en place une stratégie de lutte appropriée.

L'identification exacte des espèces présentes dans les sites infestés doit faire partie intégrante d'un programme de lutte contre ces nématodes. Dans ce contexte, nous avons contribué dans cette étude à l'identification de quelques populations de NKPTs provenant de quelques régions à vocation pomme de terre de la wilaya d'Ain Defla (El Amra, Rouina, Ain Defla, Arib et Mekhatria) en utilisant des caractères morphologiques des kystes (régions périnéales) et des juvéniles de deuxième stade de chaque population. Les résultats ont révélé que les deux espèces *Globodera rostochiensis* et *G. pallida* sont présentes dans la région d'Ain Defla soit séparément ou en populations mixtes. De même, nous avons noté que *G. pallida* est l'espèce la plus fréquente dans cette région. En effet *G. pallida* était dominante dans les sites d'Ain Defla, El Amra, Mekhatria et Arib et *G. rostochiensis* était dominante dans la localité de Rouina. Cette étude a aussi indiqué que dans le cas des populations mixtes, il y'a prédominance de l'une des deux espèces. Dans la majorité des populations mixtes, *G. pallida* était dominante.

L'identification moléculaire des populations de *Globodera* par PCR-RFLP en se basant sur les régions ITS de l'ADN ribosomique a confirmé l'identification morphologique. La digestion du produit PCR par les deux enzymes de restriction Alu I et Rsa I a permis de séparer distinctement les deux espèces *G. pallida* et *G. rostochiensis*. De même, nous avons noté une différence du profil des fragments de restriction de la population de Mekhatria (identifiée morphologiquement *G. pallida*) avec l'enzyme Rsa I, ce qui s'explique par une variabilité intraspécifique voir même par une différence de sa position taxonomique (il pourrait s'agir d'une autre espèce vu les résultats de l'étude phylogénétique). Ceci a été confirmé par l'analyse des séquences ITS des différentes populations qui a permis de déceler quelques variations intraspécifiques pour les populations de *G. pallida* comme celle de *G. rostochiensis* et la population la plus variable était celle collectée à Mekhatria MEG (identifiée morphologiquement comme *G. pallida*) avec 22 nucléotides différentes de la séquence de *G. pallida* d'Arib.

L'étude phylogénétique a confirmé l'identification morphologique pour toutes les populations sauf la population MEG de Mekhatria. En effet, la position de cette population dans l'arbre phylogénétique avec des populations d'Amérique du sud (Chili et Pérou) supposées de nouvelles espèces dans d'autres études a soutenu l'hypothèse que la population de Mekhatria MEG pourrait être une nouvelle espèce de nématodes à kystes de la pomme de terre. Concernant l'origine des deux espèces présentes à Ain Defla, cette étude a supporté l'hypothèse d'une multi-introduction d'Amérique du sud (Pérou et Chili), de l'Europe et de l'Amérique du nord (Canada,

USA) pour *G. pallida*. Quant à *G. rostochiensis*, l'hypothèse la plus vraisemblable est qu'elle ne soit pas introduite directement de l'Amérique latine mais qu'un pays de l'Europe ou le Canada fût le "hôte de la transition".

La variabilité importante de la population de Mekhatria MEG n'a pas été décelée morphologiquement en raison, vraisemblablement, du nombre faible des individus analysés mais aussi vu les chevauchements qui peuvent exister entre les populations des différentes espèces du genre *Globodera* d'où la nécessité de combiner les techniques morphologiques dites conventionnelles et les méthodes moléculaires pour la caractérisation des populations de nématodes du genre *Globodera*.

La collecte d'un nombre plus important de populations algériennes de ces nématodes de différentes régions appartenant à des bioclimats différents pourrait aider à déceler des variabilités génétiques plus importantes et mieux connaître leur composition spécifique.

Plusieurs perspectives de recherches peuvent se dégager des résultats obtenus dans ce travail de thèse:

- Multiplier les prospections dans différentes régions du pays afin de déterminer la répartition de ces parasites à l'échelle de pays.
- Il est aussi recommandé d'envisager une étude plus poussée sur l'évolution de ces nématodes dans l'espace et dans le temps pour mieux évaluer l'impact des différents types de rotation et proposer un modèle efficace pour gérer ces parasites dans le temps.
- Etudier la virulence des populations de différentes espèces à l'égard des variétés de la pomme de terre pour évaluer le niveau de résistance des cultivars les plus cultivés afin de sélectionner les variétés résistantes que les agriculteurs pourraient utiliser pour augmenter la production de cette culture stratégique.
- Développer la biologie de ces nématodes en accordant une attention particulière aux pathotypes de ce parasite.
- Explorer la diversité génétique des deux espèces *G. rostochiensis* et *G. pallida* via d'autres marqueurs moléculaires.
- Etudier la population de Mekhatria MEG avec d'autres marqueurs moléculaires tels que l'ADN nucléaire et l'ADN mitochondrial afin de confirmer sa position taxonomique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abrantes I. M., De O., Vieira Dos Santos M. C., Conceição I. L. P. M. da, Cunha M. J. M. da et Santos M. S. N. De A., 2004-** Biochemical and molecular characterization of plant-parasitic nematodes. *Phytopathol. Mediterr.* 43, 232–258.
2. **Agrios G. N., 2004 -** *Plant Pathology*, 5th edn. Ed. Academic Press, USA, 922 p.
3. **Akhtar M. et Alam M.M., 1991-** Integrated control of plant-parasitic nematodes on potato with organic amendments, nematicide and mixed cropping with mustard. *Nematol. Medit.*, **19**: 169-171
4. **Altschul S. F., Gish W., Miller W. Myers E. W. et Lipman D. J., 1990-** Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215:403-410.
5. **Ameziane L., 2009 -** Panorama général de la culture de pomme de terre au Maghreb. Revue *FILAHA INNOVE*, n° 03, 10 p.
6. **Amirouche L., 2009 -** Le développement de la culture de pomme de terre en Algérie : rappels historiques et état des lieux. *Revue FILAHA INNOVE*, n° 03, 7 p.
7. **ANDI (Agence Nationale de Développement de l'Investissement), 2013-** Wilaya Ain Defla. Ed. Agence Nationale de développement et de l'investissement. 20 p.
8. **Armstrong M. R., Blok V. C. et Phillips M. S., 2000-** A Multipartite Mitochondrial Genome in the Potato Cyst Nematode *Globodera pallida*. *Genetics*, 154: 181–192.
9. **Atkinson H. J., Urwin P. E. et McPherson M.J., 2003 -** Engineering plants for nematode resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 41: 615-639.
10. **Avato P., D'Addabbo T., Leonetti P. et Argentieri M. P., 2013.** Nematicidal potential of Brassicaceae. *Phytochem. Rev.* 12:791-802.
11. **Bačić J., Gerič Stare B., Širca S. et Urek G., 2013-** Morphometric and molecular analysis of potato cyst nematodes from Serbia. *Ljubljana, Društvo za varstvo rastlin Slovenije*, 369-372.
12. **Baize D., 2000-** *Guide des analyses en pédologie 2^{ème} édition revue et augmentée.* Edition INRA.
13. **Baldwin, J. G. et Mundo-Ocampo M., 1991-** Heteroderinae, cyst- and non-cyst forming nematodes. Pp. 275-362 in: *Manual of Agricultural Nematology*, W.R. Nickle, (ed.), Marcel Dekker, New York. USA. 1035p.
14. **Baloul D., 2012 -** *Contribution à l'étude de la bioécologie des nématodes à kystes, (Globodera sp.) inféodés à la culture de la pomme de terre.* Thèse de magister en

Références bibliographiques

- Science Agronomique, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach, Alger, 116 p.
15. **Barker K. R. et Koenning S. R., 1998-** Developing sustainable systems for nematode management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36:165–205.
 16. **Bédrani S., 1993-** La vulgarisation agricole au Maghreb : essai de synthèse d'un séminaire Cahiers Options Méditerranéennes *CIHEAM*, 2(1): 3-11.
 17. **Been T.H. et Schomaker C.H., 1999-** Fumigation of marine clay soils infested with *Globodera pallida* and *G. rostochiensis*. *Rev. Nematol.* Vol 1: 3-14.
 18. **Been T. H. et Schomaker C. H., 2000-** Development and evaluation of sampling methods for fields with infestation foci of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*). *Phytopathology*, 90:647–656.
 19. **Bélaïr G., 2005-** Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes... par la racine. *Phytoprotection*, 86 : 65-69.
 20. **Bélaïr G., 2008-** « Histoire de la Nématologie au Québec : ce n'est qu'un début! ». *Phytoprotection*, vol. 89, n° 2-3, 99-101.
 21. **Bélaïr G., 2013-** Bilan de la recherche sur les nématodes à kystes de la pomme de terre. CRAAQ, Colloque sur la pomme de terre. 49 p.
 22. **Belhadj Ben Yahia F., 2007 -** *Variation de l'infestation de quelques parcelles de pomme de terre par le nématode doré du genre Globodera. Test de sensibilité de deux variétés (Desirée et Spunta) au laboratoire.* Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 57 p.
 23. **Blanchard A., 2007-** *Identification, polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kyste de la pomme de terre Globodera pallida.* Thèse Doctorat, Université de Rennes. 264 p.
 24. **Bleve-Zacheo M. T., Melillo M. T. et Zacheo G., 1990-** Ultrastructural response of potato roots resistant to cyst nematode *Globodera rostochiensis* pathotype R0 1. *Revue Nématol.* 13 (1) : 29-36.
 25. **Blok V. C., Malloch G., Narrower B., Phillips M. S. et Vrain T. C., 1998-** Intraspecific Variation in Ribosomal DNA in Populations of the Potato Cyst Nematode *Globodera pallida*. *Journal of Nematology* 30(2):262-274.
 26. **Bonnmaison L., 1962-** *Les ennemis animaux des plantes des plantes cultivées et des forêts.* Volume II. Ed sep, Paris 1.

Références bibliographiques

27. **Bougar D., 2010** - *Etude des nématodes à kystes du genre Globodera inféodés à la culture de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Centre Universitaire de Khemis Miliana, 109 p.
28. **Boulaine J., 1957-** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'Etat de l'Université d'Alger, 582 p.
29. **Brodie B. B., 1993-** Probability of *Globodera rostochiensis* spread on equipment and Potato tubers. *Journal of Nematology* 25(2):291-296. 1993.
30. **Brodie B.B., 1996-** Effect of initial nematode density on managing *Globodera rostochiensis* with resistant cultivars and nonhosts. *Journal Nematology* 28: 510–519.
31. **Bulman S. R. et Marshall J. W., 1997-** Differentiation of Australasian potato cyst nematode (PCN) populations using the polymerase chain reaction (PCR). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural, Science* 25:123–129.
32. **Burrows P. R. et Boffey S. A., 1986-** A technique for the extraction and restriction endonuclease digestion of total DNA from *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* second stage juveniles. *Revue Nématol.*, 9 (2) : 199-200.
33. **CABI et OEPP, S.D.** - Fiche informative sur les organismes de quarantaine : *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. *CABI et l'OEPP*, préparé par le CABI et l'OEPP pour l'UE sous Contrat 90/399003, 6 p.
34. **Caromel B. Mugniéry D., Lefebvre V., Ellissèche D. et Rousselle-Bourgeois F., 2001-** Cartographie de locus de résistance au nématode à kyste chez la pomme de terre. Pp. 308-323. In : Hamon S., 2001- *Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes*. VII^e journées scientifiques du réseau AUF Biotechnologies végétales : amélioration des plantes et sécurité alimentaire» Montpellier, 3-5 juillet 2000.
35. **Carta L.K., Handoo Z.A., Powers T.O., Miller S.A., Pérez- Zuburi R., and Ramírez-Suárez A., 2005-** Guidelines for isolation and identification of regulated nematodes of potato (*Solanum tuberosum* L.) in North America. *Revista Mexicana de Fitopatología* 23:211-222.
36. **Cayrol J-C., Djian Caporalino C. et Matteille P., 1992-** La lutte biologique contre les nématodes phytoparasites. *Rev. Hort.*, 287: 36-37.
37. **Chauvin L., Caromel B., Kerlan M. C., Rulliat E. Fournet S., Chauvin J. E., Grenier E., Ellissèche D. and Mugniéry D., 2008-** *La lutte contre les nématodes à kyste de la pomme de terre Globodera rostochiensis et Globodera pallida*. *Cahiers Agriculture, volume 17, numéro 4,368-374, Juillet- Août, 2008, Synthèse*.

Références bibliographiques

38. Cronin D., Loccoz Y. M., A. Ffenton., C. Dunne., D. N. Dowlind and F. O` gara, 1997. Role of 2,4-Diacethylphloroglucinol in the interactions of the biocontrol *Pseudomonas* strain F113 with the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, (4): 1357-1361.
39. Cunha M.J.M. da, Conceição I.L.P.M. da., Abrantes I. M. De O. et Santos M.S.N. de A. , 2006- Assesment of th use of high-performance capillary gel electrophoresis to differentiate isolates of *Globodera* spp. *Nematology*, 8:139-146.
40. D'Addabbo T., Avato P. et Tava A., 2009- Nematicidal potential of materials from *Medicago* spp. *Eur J Plant Pathol*, 125:39–49
41. D'Addabbo T., Carbonara T. , Leonetti P. Radicci V. Tava A. et Avato P., 2011- Control of plant parasitic nematodes with active saponins and biomass from *Medicago sativa*. *Phytochem Rev*, 10: 503–519
42. Dandurand L. M., 2013- Novel Eradication Strategies for Pale Cyst Nematode. *Potato Progress*, Volume XIII, Number 10.
43. Delgado de la Flor R. et Jatala P., 1991- Distribution del nematodo de la papa (*Globodera* spp.) en El Departamento de Cusco, Peru. *Rev. Nematropica* Vol. 21, N° 2. 137-149.
44. Deliopoulos T., Minnis S. T., Jones P. W. et Haydock P. P. J., 2010- Enhancement of the efficacy of a carbamate nematicide against the potato cyst nematode, *Globodera pallida*, through mycorrhization in commercial potato fields. *Journal of Nematology* 42(1):22–32
45. De Luca F. et Agostinelli A., 2011- Molecular and morphometric identification of plant parasitic nematodes. *REDIA, XCIV, 2011: 143-148*
46. De Luca F., Reyes A., Grunder J., Kunz P., Agostinellia., De Giorgi C. et Lamberti F., 2004- Characterization and sequence variation in the rDNA region of six nematode species of the genus *Longidorus* (*Nematoda: Dorylaimida*). *J. Nematol.*, 36: 147-152.
47. Den Nijs, L. J. M. F., 1992- Interaction between *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in simultaneous infections on potatoes with different resistance properties. *Fundam. Appl. Nematol.*, 15 (2), 173-178.
48. Djebroune A., 2011 - *Etude des nématodes à kystes du genre Globodera inféodés à la culture de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Centre Universitaire de Khemis Miliana, 116 p.

Références bibliographiques

49. **Djebroune A., 2013-** *Contribution à l'étude de la bioécologie des nématodes à kystes (Globodera sp.) inféodé à la culture de pomme de terre.* Thèse Magister en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El-Harrach, Alger. 195 p.
50. **De Ruijter F.J. et Haverkort A. J., 1999-** Effects of potato-cyst nematodes (*Globodera pallida*) and soil pH on root growth, nutrient uptake and crop growth of potato. *European Journal of Plant Pathology*, 105: 61–76,
51. **Devrajan K., Seenivasan N., Selvaraj N. et Rajendran G., 2004-** an integrated approach for the management of potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in india. *Nematol. medit.*,
52. **Douaoui A., Hartani T. et Lakehal M., 2006-** La salinisation dans la plaine du Bas-Chellif : acquis et perspectives. Economies d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet Sirma, 2006, Marrakech, Morocco. <cirad-00271021>.
53. **DSA Ain Defla, 2013-** Direction des services agricoles Ain Defla. Document interne, non publié.
54. **Duchaufour Ph., 1977-** *Pédogenèse et classification pédologique.* 2^{ème} Edition, Masson, Paris, 325 p.
55. **EFSA (European Food Safety Authority), 2012-** Scientific Opinion on the risks to plant health posed by European versus non-European populations of the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis*, EFSA Panel on Plant Health (PLH). *EFSA Journal*, 10(4):26- 44.
56. **Evans K., 1993-** New approaches for potato cyst nematode management. *Nematropica* 23: 221-231.
57. **Evans K., Franco J. et Descurrah M. M. 1975-** Distribution of species of potato cyst nematodes in South America. *Nematologica*, 21, 365-369.
58. **FAO (Food and Agriculture Organization), 2008-** International year of the potato: Potato world. <http://www.potato2008.org/en/world/index.html>
59. **FAOSTAT, 2012-** (<http://faostat3.fao.org>)
60. **FAOSTAT, 2014-** <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor> (Production des cultures)
61. **Fatemy F. et Evans K., 1986-** Effects of *Globodera rostochiensis* and water stress on shoot and root growth and nutrient uptake of potatoes. *Revue Nématol.*, 9 (2) : 181-184.
62. **Fenwick, D.W., 1940-** Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera Schachtii* from soil. *J. Helminthology* 18: 155-172.

Références bibliographiques

63. **Fiers M., Edel-Hermann V., Chatot C., Le Hingrat Y., Alabouvette C. et Steinberg C., 2012-** Potato soil-borne diseases. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 32:93–132.
64. **Fleming C.C. et Powers T.O., 1998-** Potato cyst nematode diagnostics: morphology, differential hosts and biochemical techniques. Pp. 91-114. In: Marks R.J., Brodie B.B., 1998- *Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control* CAB International, Wallingford, UK, 408 p.
65. **Fleming C. C. et Turner S. J., 1998-** Diagnostics of cyst nematodes: use of the polymerase chain reaction to determine species and estimate population levels. *Aspects of Applied Biology* 52, 375-382.
66. **Fournet S., Renault L., Rouaux C., Le Cointe R., Dantec J.P., Bozec M. et Kerlan M.C., 2011-** Efficacité, durabilité, productivité : la recherche du compromis - Cas du couple pomme de terre-nématode à kyste *Globodera pallida*. *Innovations Agronomiques* 15, 79-88
67. **Franco J., 1986-** Potato cyst nematodes; *Globodera* spp. *Technical Information Bulletin 9. International Potato Center, Lima, Peru.* 19 p. (Second edition).
68. **Franco J., Oros R., Main G. et Ortuño N., 1998-** Potato cyst nematodes (*Globodera* species). Pp. 239-270. In: Marks R.J., Brodie B.B., 1998- *Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control* CAB International, Wallingford, UK, 408p.
69. **Franco-Ponce J et González-Verástegui A., 2011-** Pérdidas causadas por el nematodo quiste de la papa (*Globodera* sp.) en Bolivia y Perú. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16: 233-249.
70. **Frezal P., 1954-** Importance et répercussions de la contamination de l'Algérie par le nématode doré (*Heterodera rostochiensis* Wooll. [Woll.]). *Journal Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France.* Vol. 40 No. 2, pp. 71-74
71. **Golden A. M., 1986-** Morphology and identification of cyst nematodes. Pp. 23-46. In Lambert and Taylor C.E., 1986- *Cyst nematodes*. Ed. Pelenum Press, New York. 467 p.
72. **Greco N., 1988-** Potato cyst nematodes: *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. Nematology Circular, No149. Florida Department of Agriculture and Consumer services, Division of plant Industry, Gainesville, FL, USA.
73. **Greco N., Brandonisio A. et Bultrini A., 1984-** Control of *Globodera rostochiensis* on potato with fumigant and non fumigant nematicides. *Nematol. Medit.*, 12: 7-13.
74. **Greco N., Di Vita M., Brandonisio O., Giordano I. et De Marinis G., 1982** – the effect of *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* on potato yield. *Nematologica*, 28: 379-386.

Références bibliographiques

75. **Greco N., Inserra R.N., Brandonisio A., Tirro A., et De Marinis G., 1988-** Life-cycle of *Globodera rostochiensis* on potato in Italy. *Nematol. Medit.*, **16**, 69-73.
76. **Greco N., D'addabbo T., Brandonisio A., et Elia F., 1993-** Damage to Italian Crops Caused by Cyst-forming Nematodes. *Journal of Nematology* 25(4S):836-842.
77. **Greco N., Di Vito M., Parisi B., Ranalli P., Brandonisio A. et Catalano F., 2007-** Resistance of new Italian potato breeding clones to cyst and root-knot nematodes. *Nematol. medit.*, **35**: 227-235
78. **Green J., Wang D., Lilley C. J., Urwin P. E. et Atkinson H. J., 2012-** Transgenic Potatoes for Potato Cyst Nematode Control Can Replace Pesticide Use without Impact on Soil Quality. *PLoS ONE* 7(2): e30973.
79. **Grenier E., Bossis M. Fouvile D., Renault L. et Mugniery D., 2001-** Molecular approaches to the taxonomic position of Peruvian potato cyst nematodes and gene pool similarities in indigenous and important populations of *Globodera*. *Heredity* 86, 277-290.
80. **Grenier E. Fournet S., Petit E. et Anthoine G. 2010-** A cyst nematode „species factory“ called the Andes. *Nematology*, **12** (2): 163-169.
81. **Groza M., Rosca I., Costache C. et Boros L., 2011-** research regarding the identification of *Globodera* spp. using morphological characters and polymerase chain reaction in Romania. *Scientific Papers, UASVM Bucharest, Series A, Vol. LIV, ISSN* 1222-5339.
82. **Hajihassani A., Ebrahimian E. et Hajihassani M., 2013-** Estimation of yield damage in potato caused by Iranian population of *Globodera rostochiensis* with and without aldicarb under greenhouse conditions. *Int. J. Agric. Biol.*, **15**: 352–356.
83. **Handoo Z. A., Carta L. K., Skantar A. M., Chitwood D. J., 2012-** Description of *Globodera ellingtonae* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) from Oregon *Journal of Nematology* 44(1):40–57. 2012.
84. **Hidalgo-Diaz I. et Kerry B.R., 2008.** Integration of biological control with other methods of nematode management. Pp. 29-49. *In: Integrated Management and Biocontrol of Vegetable and Grain Crops: Nematodes*, Springer, 356 p.
85. **Hlaoua W., Horrigue- Rouani N. Fouvile D. et Mugniery D., 2008-** Morphological and molecular characterisation of Potato Cyst Nematode populations from Tunisia and Survey for their probable geographical origine. *Biotechnology* 7 (4): 651-659.

Références bibliographiques

86. **Hlaoua W., Kallel S. et Horrigue-Raouani N., 2010** - Effets des composantes de l'environnement et des pratiques culturales sur les communautés des nématodes associées à la culture de pomme de terre en Tunisie. *Nematol. medit.*, 38: 13-26.
87. **Hodda M. et Cook D. C, 2009**- Economic Impact from Unrestricted Spread of Potato Cyst Nematodes in Australia. *The American Phytopathological Society*, Vol. 99, No. 12: 1387-1393.
88. **Hodda M. et Lawrence L., 2009**- Potato cyst nematode in Australia. *Farming Ahead* May 2009, N. 208 (www.farmingahead.com.au).
89. **Hockland S., 2002**- Potato cyst nematodes - a technical overview for England and Wales. CSL, Sand Hutton, York, England. 19 p.
90. **Hoolahan A. H., Blok V. C., Gibson T. et Dowton M., 2012**- A Comparison of Three Molecular Markers for the Identification of Populations of *Globodera pallida*. *Journal of Nematology*, 44(1):7–17.
91. **Hooper D. J., 1970**- Handling, fixing, staining and mounting nematodes. Pp. 59–80 in J. F. Southey (ed.), *Laboratory methods for work with plant and soil nematodes*. 5th Edition. London: Her Majesty's Stationery Office.
92. **Hou X., Hu N., Zhang X., Liang L., Zhai R., 2010**- Vertical Distribution of Soil Nematode Communities under Different Tillage Systems in Lower Reaches of Liaohe River. *Chin. Geogra. Sci.* 20(2) 106–111.
93. **Hu C. et Qi Y.C., 2010**- Abundance and diversity of soil nematodes as influenced by different types of organic manure. *Helminthologia*, 47: 58 – 66.
94. **Ibrahim S. K., Minnis S., Barker A. D. P., Russel M. D., Haydock P. P. J., Evans K., Grove J.G., Woods S. R. et Wilcox A., 2001**- Evaluation of PCR, IEF and ELISA techniques for the detection and identification of potato cyst nematodes from field soil samples in England and Wales. *Pest Manage. Sci.* 57: 1068-1074.
95. **Inagaki H., 1984**- Studies on the ecology and control of the potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*. *Res. Bull. Hokkaido Natl Agric. Exp. Stn.* 139, 73-144
96. **INPV, 2009**- Nématodes à kystes de la pomme de terre : *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*. Ed. INPV, 4 p.
97. **ITCMI, 2013**- La culture de la pomme de terre : Production et possibilités de transformation. *Journée de la pomme de terre CCI Dahra Mostaganem*. 04 Décembre, 2013.

Références bibliographiques

98. **Jiménez-Pérez N., Crozzoli R. et Greco N. 2007-** Nematodos fitoparasíticos asociados con el cultivo de la papa en el estado Lara, Venezuela. *Fitopatol. Venez.* 20:34-40.
99. **Johnson E. A., Smith T. R. et Dixon W. N., 2007-** Potato Cyst Nematodes Survey. 2nd Interim Report: April- December, 2007. Ed. Florida Cooperative Agricultural Pest Survey. 12 p.
100. **Kacem N., 1992 -** Répartition des nématodes à kystes de la pomme de terre dans la wilaya de Boumerdes. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 72 p.
101. **Kantharaju V. et Reddy B. M., 2001-** Management of *Meloidogyne incognita* on potato using cultural and chemical methods. *Indian Journal of Nematology*, 32: 79-97.
102. **Khan B. A. Munir A., Haq I. et Aslam M., 1986-** Occurrence and distribution of potato cyst nematodes in northern areas of Pakistan. *Pak. J. Nematol.*, 4 (1): 41-42.
103. **Kovaleva E. S., Masler E. P., Subbotin S. A. et Chitwood D. J., 2005-** Molecular Characterization of Aldolase from *Heterodera glycines* and *Globodera rostochiensis*. *Journal of Nematology*, 37(3):292–296
104. **Krnjaić D., Lamberti F., Krnjaić S., Bafić J. et Calić R., 2002-** First record of the potato cyst nematode (*Globodera rostochiensis*) in Yugoslavia. *Nematol. Medit.*, 30: 11-12.
105. **Lambion J., Toulet A. et Traente M., 2006-** Protection phytosanitaire en culture de pomme de terre biologique, Fiche 2: *Lutte contre les ravageurs*. Institut technique de l'agriculture biologique, Paris- France, 4 p.
106. **Lamondia J. A., Rawsthorne D., et Brodie B. B., 1987-** Decline of *Globodera rostochiensis* as Influenced by Potato Root Diffusate Movement and Persistence in Soil. *Journal of Nematology* 19(2):172-176. 1987.
107. **Larkin M.A., Blackshields G., Brown N.P., Chenna R., McGettigan P. A., McWilliam H., Valentin F., Wallace I. M., Wilm A., Lopez R., Thompson J. D., Gibson T. J. et Higgins D. G., 2007-** Clustal W and Clustal X version 2.0. *Bioinformatics Applications Note*. Vol. 23 (21), 2947–2948.
108. **Lax P., Rondan Dueñas J. C., Franco-Ponce J., Gardenal C. N., Doucet M. E., 2004-** Morphology and DNA sequence data reveal the presence of *Globodera ellingtonae* in the Andean region. *Contributions to Zoology*, 83 (4) 227-243.

Références bibliographiques

109. **Lehman P. S., 1994-** Dissemination of phytoparasitic nematodes. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, *Division of Plant Industry, Gainesville. Circular N° 208.* 4p.
110. **Lilley C. J., Bakhetia M., Charlton W. L. et Urwin P. E., 2007-** Recent progress in the development of RNA interference for plant parasitic nematodes. *Mol. Plant Pathol.* 8(5): 701-711.
111. **Liu Y., Hua J., Jiang Y., Li Q. et Wen D., 2006 -** Nematode communities in greenhouse soil of different ages from Shenyang suburb. *Helminthologia*, 43, 1: 51 -57.
112. **LNPV, 2001-** Identification morphologique et par technique moléculaire de *Globodera pallida* et de *Globodera rostochiensis* nématodes à kystes de la pomme de terre). Ed. LNPV. Unité Nématologie à Renne. 17 p.
113. **Lopez-Lima D., Sanchez Nava P., Garión G. et Nunez-Sanchez A. E., 2013-** 89% of reduction of potato cyst nematodes population using biological control and rotation. *Agro. Sustain. Dev.*, 33, 425-431.
114. **Madani M., Subbotin S. A. et Moens M., 2005-** quantitative detection of the potato cyst nematode, *Globodera pallida*, and the beet cyst nematode, *Heterodera schachtii*, using real-time PCR with SYBR green I dye. *Mol. Cell. Probes*, 19(2):81-86.
115. **Madani M., Word L. G. et De Boer S. H., 2008-** Multiplex real time polymerase chain reaction for identifying potato cyst nematodes, *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis* and the tobacco cyst nematode, *Globodera tabacum*. *Can. J. Plant. Pathol.* 30: 554-564.
116. **Madani M., Ward L. J., de Boer S. H. 2011-** Hsp90 gene, an additional target for discrimination between the potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*, and the related species, *G. tabacum tabacum*. *European Journal of Plant Pathology* 130: 271-285.
117. **Manduric S., Olsson E., England J. E. et Andersson S., 2004-** Separation of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* (Tylenchida: Heteroderidae) using morphology and morphometrics. *Nematology*, Vol. 6(2), 171-181.
118. **Maina J. et Djaida F., 1990-** Hydrobiologie de la plaine du alluviale du haut-Chellif de la région de Khemis Miliana (Algérie). *Bull. Soc. Geol.*, n° 3, 505-513.
119. **Marks R. J. et Brodie B. B., 1998.-** Introduction: Potato cyst nematodes- an international pest complex. Pp. 1-4. In Marks, R. J. and Brodie, B. B., 1998- *Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control*. CAB International, Wallingford, U.K. 408 p.

Références bibliographiques

120. **Marshall J. W., 1993-** Detecting the presence and distribution of *Globodera roslochiensis* and *G. pallida* mixed populations in New Zealand using DNA probes. *N. Z. JI Crop fumic. Sc.*, 21: 219-223.
121. **Mateille T., 1994-** biologie de la relation plantes-nématodes: perturbations physiologiques et mécanismes de défense des plantes. *Nematologica*, 40 : 276-311.
122. **Mazouz K., 2011 -** *Etude préliminaire de la répartition et de la distribution des nématodes à kyste de la pomme de terre, du genre Globodera dans la wilaya de Chlef.* Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Université Hassiba Ben-Bouli, Chlef, 75 p.
123. **Merah F., 1998 -** *Etude comparative de l'infestation des régions du littoral et les plaines intérieures par le nématode doré de la pomme de terre.* Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 74 p
124. **Merny G. et Luc M., 1969-** Les techniques d'échantillonnage des peuplements de nématodes dans le sol. Pp.237-272 in *Problèmes d'écologie : L'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres.* Ed. Masson et Cie, Paris, 360 p.
125. **Mugniery D., 1975-** Importance des dégâts provoqués en France par les nématodes à kystes de la pomme de terre, *H. rostochiensis* Woll. et *H. pallida* Stone. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 60, 636-644.
126. **Mugniéry D., 1982 -** Diversités régionales d'application de lutte intégrée en culture de pomme de terre en fonction de la variabilité des populations de nématodes à kystes. *I.N.R.A., Rennes 2 (7):* 629-644.
127. **Mugniery D., Rulliat E., Ellisseche D., 2006-** Les nématodes de la pomme de terre. *Filière Pomme de Terre Mag*, 20-24.
128. **Mulder A., Van Der Wal A. F. et Velema R. A. J, 1997-** Relationship between potato cyst nematode and their host. III. Consistency of nematode density-yield descriptors as influenced by seasonal variation. *Potato Res.*, 40: 335-344.
129. **Nakachia J. M. et Jacquemont R., 1971 -** *L'analyse nématologique.* Pp.759-792 in *Les nématodes des cultures - Journées d'études et d'information.* Ed. ACIA et PNGPC, Paris, 828 p.
130. **Nakhla M. K., Owens K. J., Li W., Wei G., Skantar A. M., et Levy L., 2010-** Multiplex realtime PCR assays for the identification of the potato cyst and tobacco cyst nematodes. *Plant Dis.* 94:959-965.
131. **Niere B. et Unger J. G., 2012-** Extensive literature search on the PCN and PCN-host. Supporting publications 2012: EN-272.

Références bibliographiques

132. **Nouad M. A., 2009** - Problématique sur la pomme de terre. *Revue FILAHA INNOVE*, n° 03, pp. 5-6.
133. **OEPP/EPPO, 2004**- Diagnostic protocols for regulated pests- *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *OEPP/EPPO Bulletin* 34, 309-314.
134. **OEPP/EPPO, 2009**- *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 39, 354–368.
135. **OEPP/EPPO, 2013**- *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Bulletin OEPP/EPPO*, 43, 119–138.
136. **Oesterlin H., 2003**- Les nématodes phytoparasites de sol menacent nos cultures- Biologie, dégâts provoqués, lutte. 12p. <http://www.8ung.at/oesterlin>
<http://www.oesterlin.de.vu>
137. **Olsson C., 2009**- Characterisation of mechanisms involved in hatching of the potato cyst nematode. Bachelor project in the Horticultural Science programme. Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU.
138. **Oro V. et Oro Radovanovic V., 2012**- Molecular characterization of PCN populations from Serbia - *Genetika*, Vol, 44, No. 1, 189 – 200.
139. **Oro V., Ivanović Ž., Nikolić B., Barszi L., Radivojević M. et Jovčić B., 2010**- Morphological and molecular identification of potato cyst nematode populations in Serbia. *Arch. Biol. Sci.*, Belgrade, 62 (3), 747-754.
140. **Othman A. A., Baldwin J. G. et Mundo-Ocampo M. 1988**- Comparative morphology of *Globodera*, *Cactodera*, and *Punctodera* spp. (Heteroderidae) with scanning electron microscopy. *Revue de Nématologie* 11:53–63.
141. **Perry R. N., 1986**- Physiology of hatching. Pp. 119-132. In Lamberti and Taylor C.E., 1986- *Cyst nematodes*. Ed. Pelenum Press, NewYork. 467 p.
142. **Picard D., 2005** - *Génétique des populations et phylogéographie du nématode à kyste de la pomme de terre (Globodera pallida) au Pérou*. Thèse de doctorat en Biologie, Université de Rennes1/ Agrocampus, 185 p
143. **Picard D., Sempere T., et Plantard O., 2007**- A northward colonization of the Andes by the potato cyst nematode during geological times suggests multiple host-shifts from wild to cultivated potatoes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 42:308–316.
144. **Plantard O., Picard D., Valette S., Scurrah M., Grenier E. et Mugniery D., 2008**- Origin and genetic diversity of Western European populations of the potato cyst nematode (*Globodera pallida*) inferred from mitochondrial sequences and microstellite loci. *Mol. Ecol.*, 17: 2208-2218.

Références bibliographiques

145. **Pylypenko L. A., Phillips M. S. et Blok V. C., 2008-** Characterization of two Ukrainian populations of *Globodera pallida* in terms of their virulence and mtDNA, and the biological assessment of a new resistant cultivar Vales Everest. *Nematology*, 10:585–590.
146. **Quader M., Nambiar L. et Cunnigton J., 2008-** Conventional and real-time PCR-based species identification and diversity of potato cyst nematodes and diversity of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.) from Victoria, Australia. *Nematology*, Vol. 10(4), 471-478.
147. **Rasmann S. et Ali J. G., 2012-** Ecology and Evolution of Soil Nematode Chemotaxis. *J. Chem. Ecol.* 38:615–628.
148. **Renčo M., D'Addabbo T., Sasanelli N. et Papajova I., 2007-** The effect of five composts of different origin on the survival and reproduction of *Globodera rostochiensis*. *Nematology*, 9, 537–543.
149. **Renčo M., Lišková M., et Čerevková A., 2010-** Seasonal fluctuations of the nematode communities in a hop garden soil. *Helminthologia*, 47:115–122.
150. **Renčo M., Cermak V. et Gaar V., 2011.** Vertical Distribution of Hop Cyst Nematode in Hop Gardens in Central Europe. *Journal of Nematology*, 43, 220–222.
151. **Renčo M., Sasanelli N. et Kováčik P. 2011-** The effect of soil compost treatments on potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Helminthologia*, 48: 184 – 194.
152. **Renčo M., Sasanelli N., Papajova I. et Maistrello L., 2012-** Nematicidal effect of chestnut tanni solution on the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Wol) Barhens. *Helminthologia*, 49, 108-114.
153. **Revexsat G., 1981-** Les possibilités de lutte biologique contre les nématodes phytoparasites en Afrique de l'Ouest. Conférence International sur "La lutte biologique contre les parasites et sa potentialité en Afrique de l'ouest. 9 au 13 Février 1981, Dakar
154. **Ritter M., 1971 -** Les nématodes et l'Agriculture. Pp 7-65 in : *Les nématodes des cultures*. Journées d'Etude et d'Information ACTA-APNGPC, Paris, 3.4.5 Novembre 1971. 828 p.
155. **Robinson M. P., 1986-** *factors influencing the infectivity of the potato cyst nematodes, Globodera rostochimsis and G. pallida*. Thèse Doctorat; Department of Pure and Applied Zoology the University of Leeds. 148 p.
156. **Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C., 1996-** *La pomme de terre*. Ed. INRA et ITCF, Paris, 607p.

Références bibliographiques

157. **Sabo A., Reis L. G. L., Krall E., Mundo-Ocampo M., et Ferris V. R., 2002-** Phylogenetic Relationships of a Distinct Species of *Globodera* from Portugal and two *Punctodera* Species. *Journal of Nematology*, 34 (3):263–266.
158. **Saidi D., Douaoui A., Le Bissonais Y. et Waltter C., 1999-** Stabilité de la surface des sols des plaines du Chellif à la dégradation structurale. *Etude est Gestion des Sol*, 6, 1 : 15-25.
159. **Saxena G., 2007-** Nematophagus fungus as biocontrol agents of plant parasitic nematodes. Pp.165-185 in: Saxena G. et Mukerji K.G. (eds), *Management of nematode and insect borne plant diseases*. 290 p.
160. **Sbabou L., 2009-** *Diversité génétique du lupin au Maroc et étude du développement racinaire du lupin blanc sous stress abiotique par des approches de génomique fonctionnelle*. Thèse Doctorat. Université Mohammed V-AGDAL, Rabat, Maroc. 232 p.
161. **Schneider J. et Megniery M., 1971** – Les nématodes parasites de la pomme de terre. Pp 327-348 in : *Les nématodes des cultures. Journées d'Etude et d'Information ACTA-APNGPC, Paris, 3.4.5 Novembre 1971*. 828p.
162. **Schots A., Gommers F. J. et Egberts E., 1992-** Quantitative ELISA for the detection of potato cyst nematodes in soil samples. *Fundamental and Applied Nematology* 15, 55–61.
163. **Scoto Lamassese C., 1961-** Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie. *Journée d'Etude Internationale. ACTA, F.N.G.P.C., Paris*, 2p.
164. **Scurrah I., Niere B. et Bridge J., 2005-** Nematode Parasites of *Solanum* and Sweet Potatoes. Pp: 193-219 in: Luc M., Sikora R. A. et Bridje J., 2005- *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture 2nd Edition*. Ed. CAB International. 917 p.
165. **Sedlák P., Melounová M., Skupinová S., Vejl P. et Domkářová J., 2004-** Study of European and Czech populations of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*) by RAPD method. *Plant. Soil. Environ.*, 50 (2): 70–74.
166. **Shields R., Fleming C.C. et Stratford R., 1996-** Identification of potato cyst nematodes using the polymerase chain reaction. *Fundam. appl. Nematol.*, 19 (2),167-173.
167. **Siddiqi M. R., 2000-** Tylenchida-Parasites of plants and insects. Ed. CAB International, Wallingford, UK, 833p.
168. **Širca S., Geric Stare B., Strajnar P. et Urek G., 2010-** PCR-RFLP diagnostic method for identifying *Globodera* species in Slovenia. *Phytopathol. Mediterr.* 49, 361–369

Références bibliographiques

169. **Skantar A. M. et Carta L. K. 2004-** Molecular characterization and phylogenetic evaluation of the Hsp90 gene from selected nematodes. *Journal of Nematology* 36:466–480.
170. **Skantar A. M., Handoo Z. A., Carta L. K. et Chitwood D. J., 2007-** morphological and molecular identification of *Globodera pallida* associated with potato in Idaho. *Journal of Nematology*, 39(2):133-144.
171. **Soltner D., 1979-** *Les grandes productions végétales*. Ed. CSTA, Paris, 10 éditions. 348 p.
172. **Stone A. R., 1973-** *Heterodera pallida* and *Heterodera rostochiensis*. *CIH Descriptions of Plant-parasitic Nematodes* No. 16 and 17. CAB International, Wallingford, UK.
173. **Stone A. R., 1975-** Taxonomy of potato cyst nematodes. *Bulletin OEPP*, 5, 79-86.
174. **Subbotin S. A., Halford P. D. et Perry R. N., 1999-** Identification of populations of potato cyst nematodes from Russia using protein electrophoresis, rDNA- and RAPDS. *Russian Journal of Nematology*, 7, 57-63.
175. **Subbotin S. A , Halford P. D., Warry A. et Perry R. N., 2000-** Variations in ribosomal DNA sequences and phylogeny of *Globodera* parasitising Solanaceous plants. *Nematology*, Vol. 2(6), 591-604.
176. **Subbotin S. A., Cid Del Prado Vera I., Mundo-Ocampo M. et Baldwin J.G., 2011-** Identification, phylogeny and phylogeography of circumfenestrata cyst nematodes (Nematoda: Heteroderidae) as inferred from analysis of ITS-Rdna. *Nematology*, Vol. 13(7), 805-824.
177. **Sullivan M. J., Inserra R. N., Franco J., Moreno-Leheudé I. et Greco N., 2007-** Potato cyst nematodes : Plant host status and their regulatory impact. *Nematologica*, Vol. 37, No. 2. 193-201.
178. **Swanson B. E. , 2003-**Tendance et changement au sein du système de vulgarisation agro technique chinoise. *Journal d'Education Internationale Agricole et de Vulgarisation* 10 (2) :17-24.
179. **Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A. et Kumar S., 2013-** MEGA6 : Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Mol, Biol. Evol.*, 30: 2725-2729.
180. **Thiéry M. et Mugniéry D., 1996-** Interspecific rDNA restriction fragment length polymorphism in *Globodera* species, parasites of Solanaceous plants. *Fundam. Appl. Nematol*, 19, 471-479.
181. **Tiilikkala K., 1991 -** Effect of crop rotation on *Globodera rostochiensis* and on potato yield. *Ello Bulletin*, 21(1): 41-47.

Références bibliographiques

182. Tobin J.D., Haydock P. P. J., Hare M.C., Woods S. R. et Crump D. H., 2008- Effect of the fungus *Pochonia chlamydosporia* and fosthiazate on the multiplication rate of potato cyst nematodes (*Globodera pallida* and *G. rostochiensis*) in potato crops grown under UK field conditions. *Biol Control* , 46(2):194–201
183. Toyota K., Shirakashi T., Sato E., Wada S. et Min Y.Y., 2008 - Development of real-time PCR method for the potato-cyst nematode *Globodera rostochiensis* and the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Soil Science and Plant nutrition*. 54, 72-76.
184. Trifonova Z. T., 2010- Studies on the efficacy of some bacteria and fungi for control of *Globodera rostochiensis*. *Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 55, No. 1, 37-44
185. Turcotte P. et Harvey D., 2007 - Phylogénétique de la pomme de terre et nématode doré : La stratégie de Centre de recherche Les Buissons. *Colloque sur la pomme de terre*, 9 Novembre 2007. Quebec. 15p.
186. Turcotte P., Bélair G., Moffert P., Belzite F. et Mimee B., 2013- *Rapport Final DPAI # 05026 -Développement d'une stratégie de gestion intégrée contre les nématodes à kyste de la pomme de terre, Globodera rostochiensis et G. pallida, au Canada*. Ed. Centre de recherche Les Buissons. 115 p.
187. Turner S. J., 1996 - Population decline of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*) in field soils in Northern Ireland. *Annals of applied Biology*, 129(2): 315-322.
188. Turner S. J. et Evans K., 1998- The origins, global distribution and biology of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* (Woll.) and *Globodera pallida* Stone). In Marks, R. J. and Brodie, B. B., 1998- *Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control*. CAB International, Wallingford, U.K. 408p.
189. Turner S.J., et Rowe J.A., 2006- Cyst Nematodes. Pp. 91-122, In: Perry R. N. and Moens M. (eds.) *Plant Nematology*. CAB International, Wallingford (GB), pp. 91-122.
190. Urek G., Širca S., Geric Stare B., Dolničar P. et Strajnar P., 2008- The influence of potato cyst nematode *G. rostochiensis* infestation on different potato cultivars. *Journal of Central European Agriculture*, 9:1, 71-76
191. Valdez R. B., Mcnamara D. G., Ormerod P. J., Pitcher R. S. et Tresh J. M., 1974- Transmission of the hop strain of arabis mosaic virus by *Xiphinema diversicaudatum*. *Annals of Applied Biology* 76:113–122.
192. Vejl P., Skupinová S., Sedlák P. et Domkářová J., 2002- Identification of PCN species (*Globodera rostochiensis*, *G. pallida*) by using of ITS-1 region's polymorphism. *ROSTLINNÁ VÝROBA*, 48 (11): 486–489.

Références bibliographiques

193. **Vovlas N., Troccoli A., Palomares-Rius J. E., De Luca F., Liebanas G., Landa B. B., Subbotin S. A. et Castillo P. , 2011-** *Ditylenchus gigas* n. sp. parasitizing broad bean: a newstem nematode singled out from the *Ditylenchus dipsaci* species complex using a polyphasic approach with molecular phylogeny. *Plant Pathology* 60, 762–775
194. **Warner F., 2008-** Potato Cyst Nematodes: Serious Threats to Michigan's Potatoes. Ed. Diagnostic Services Michigan State University. 4p.
195. **Webley D. P. et Jones F. G. W., 1981-** Observations on *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* on early potatoes. *Plant Pathol.*, 30 : 217-224.
196. **Whitehead A. G, 1977-** Vertical Distribution of Potato, Beet and Pea Cyst Nematodes in some Heavily Infested Soils. *Plant Pathology*, 26:85–90.
197. **Whitehead A, G, et Turner S. J., 1998-** Management and regulatory strategies for potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*). Pp. 135-152. In: Marks R.J., Brodie B.B. (eds.), *Potato Cyst Nematode, Biology, Distribution and Control*, CAB International, Wallingford, U.K. 408p.
198. **Williamson V.M. et Gleason C. A., 2003-** Plant-nematode interactions. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 6: 327-333.

Annexes

Annexes

Annexe 1: Informations relatives au mode de conduite de la culture de pomme de terre dans les différentes parcelles échantillonnées dans les différentes communes

Commune	Parcelle	Variété de pomme de terre cultivée	Précédent cultural	Mode d'irrigation
El Amra	P1	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P4	Spunta	Pomme de terre/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Pomme de terre/Céréales	Aspersion
	P6	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
Rouina	P1	Spunta	Pomme de terre-Céréales	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Pastèque/Pomme de terre	Aspersion
	P4	Spunta	Céréales (blé dur)	Aspersion
	P5	Bartina	Céréales/ Pomme de terre	Aspersion
	P6	Spunta	Céréales/pomme de terre	Aspersion
Ain Defla	P1	Spunta	Pomme de terre/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Bartina	Pomme de terre/Céréales	Aspersion
	P3	Spunta	Pomme de terre/Céréales	Aspersion
	P4	Spunta	Pomme de terre/Céréales	Aspersion
	P5	Kondor	Labourée/Pomme de terre	Aspersion
	P6	Spunta	Pomme de terre /Céréales	Aspersion
Attaf	P1	Spunta	Céréales /Pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales /Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales/pomme de terre	Aspersion
Mekhatria	P1	Spunta	Céréales (blé dur)/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales (blé dur)/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunte	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P4	Spunta	Céréales (Blé tendre)/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Céréales (Blé dur)/Pomme de terre	Aspersion
	P6	Spunta	Pomme de terre/Pomme de terre	Aspersion
Bourached	P1	Kondor	Céréales/Céréales	Aspersion
	P2	Bartina	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P4	Spunta	Céréales (Blé dure)/Céréales (Avoine)	Aspersion
	P5	Spunta	Pomme de terre/céréales	Aspersion
	P6	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
Bordj Emir Khaled	P1	Spunta	Céréales (Blé tendre)/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Pomme de terre/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Pomme de terre/Céréales (Orge)	Aspersion
	P4	Spunta	Pomme de terre/Céréales (blé dur)	Aspersion
	P5	Spunta	Pomme de terre/Céréales (blé dur)	Aspersion
	P6	Kondor	Céréales (Blé tendre)/Céréales (blé dur)	Aspersion
Bir Ouled	P1	Spunta	Céréales/ Pomme de terre	Aspersion

Khalifa	P2	Spunta	Céréales/ Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales/ Pomme de terre	Aspersion
	P4	Désirée	Céréales (blé dur)/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Céréales (Orge)/ Céréales (Blé dur)	Aspersion
	P6	Spunta	Jachère/Pomme de terre	Aspersion
Arib	P1	Spunta	Pomme de terre/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales (Orge)/ Pomme de terre	Aspersion
	P3	Bartina	Céréales (Blé dur)/ Pomme de terre	Aspersion
	P4	Spunta	Pomme de terre/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P6	Spunta	Pomme de terre/Céréales (blé)	Aspersion
Djendel	P1	Spunta	Céréales (Orge)/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Bartina	Céréales (blé dur)/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales (blé dur)/Céréales (Orge)	Aspersion
	P4	Spunta	Céréales (blé dur)/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Céréales (Blé dur)/ Céréales (Blé dur)	Aspersion
	P6	Kondor	Céréales (blé dur)/Pomme de terre	Aspersion
Ain Soltane	P1	Bartina	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Kondor	Céréales/Jachère	Aspersion
	P4	Bartina	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Céréales/ Pomme de terre	Aspersion
	P6	Spunta	Pomme de terre/Céréales	Aspersion
Zeddine	P1	Spunta	Pomme de terre/Céréales	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales (Blé dur)	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales /Pomme de terre	Aspersion
	P4	Spunta	Céréale/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Pomme de terre/Céréales	Aspersion
	P6	Spunta	Pomme de terre/Pomme de terre	Aspersion
El Abadia	P1	Spunta	Laitue/pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Pastèque/ Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales (Blé dur)	Aspersion
	P4	Spunta	Céréales (Blé dur)	Aspersion
	P5	Spunta	Céréales (Blé dur)	Aspersion
	P6	Spunta	Céréales (Blé dur)	Aspersion
Djellida	P1	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P2	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P3	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P4	Spunta	Céréales/Pomme de terre	Aspersion
	P5	Spunta	Céréales/Céréales	Aspersion
	P6	Spunta	Céréales/Céréales	Aspersion

Annexe 2: Aperçu sur l'importance de l'infestation par les nématodes à kystes *Globodera* de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla.

Commune	Parcelle	kystes vides/kg du sol	kystes pleins /kg du sol	nombre total de kystes	% kystes vides	%	I2+œufs/kg	I2+œufs/g
Abadia	P1	54	0	54	100	0	0	0
Abadia	P2	134	0	134	100	0	0	0
Abadia	P3	34	0	34	100	0	0	0
Abadia	P4	46	0	46	100	0	0	0
Abadia	P5	28	0	28	100	0	0	0
Abadia	P6	10	0	10	100	0	0	0
Abadia	M	51	0	51	100	0	0	0
Abadia	ET	43,41	0	43,410	0	0	0	0
Bordj Emir Khaled	P1	108	0	108	100	0	0	0
Bordj Emir Khaled	P2	122	0	122	100	0	0	0
Bordj Emir Khaled	P3	58	0	58	100	0	0	0
Bordj Emir Khaled	P4	94	0	94	100	0	0	0
Bordj Emir Khaled	P5	66	0	66	100	0	0	0
Bordj Emir Khaled	P6	244	0	0	100	0	0	0
Bordj Emir Khaled	M	115,33	0	74,67	100	0	0	0
Bordj Emir Khaled	ET	67,57	0	43,94	0	0	0	0
Djellida	P1	102	0	102	100	0	0	0
Djellida	P2	148	0	148	100	0	0	0
Djellida	P3	164	0	102	100	0	0	0
Djellida	P4	122	0	122	100	0	0	0
Djellida	P5	98	0	98	100	0	0	0
Djellida	P6	68	0	68	100	0	0	0
Djellida	M	117	0	106,67	100	0	0	0
Djellida	ET	35,16	0	26,67	0	0	0	0
El Amra	P1	86	0	86	100	0	0	0
El Amra	P2	40	52	92	43,57	56,52	3348	3,35
El Amra	P3	14	4	18	77,78	22,22	896	0,9
EL Amra	P4	50	0	50	100	0	0	0
El Amra	P5	126	6	132	95,45	4,55	404	0,40

El Amra	P6	88	6	94	93,62	6,38	1026	1,03
El Amra	M	67,33	11,33	78,67	85,07	14,95	945,67	0,95
El Amra	ET	40,27	20,11	39,53	21,92	21,95	1253,96	1,25
Rouina	P1	204	18	222	91,89	9,11	1284	1,28
Rouina	P2	56	0	56	100	0	0	0
Rouina	P3	44	2	46	95,65	4,35	832	0,83
Rouina	P4	32	132	164	19,51	80,49	18598	18,60
Rouina	P5	0	74	74	0	100	16932	16,93
Rouina	P6	186	28	214	86,92	13,08	464	0,46
Rouina	M	87	42,33	129,33	65,66	34,51	6351,67	6,35
Rouina	ET	85,90	51,50	80,43	43,95	43,84	8866,48	8,87
Ain Defla	P1	584	66	650	89,85	10,15	10274	10,27
Ain Defla	P2	16	0	16	100	0	0	0
Ain Defla	P3	38	6	44	86,36	13,64	140	0,14
Ain Defla	P4	680	80	760	89,47	10,53	12010	12,01
Ain Defla	P5	114	0	114	100	0	0	0
Ain Defla	P6	260	28	288	90,28	9,72	3572	3,57
Ain Defla	M	282	30	312	92,66	7,34	4332,66667	4,33
Ain Defla	ET	285,8699	35,15	320,68	5,85	5,85	5476,16576	5,48
Attaf	P1	36	4	40	90	10	904	0,90
Attaf	P2	40	8	48	83,33	16,67	668	0,67
Attaf	P3	52	0	52	100	0	0	0
Attaf	M	42,67	4	46,67	91,11	8,89	524	0,52
Attaf	ET	8,33	4	6,11	8,39	8,39	468,89	0,47
Mekhatria	P1	22	0	22	100	0	0	0
Mekhatria	P2	6	2	8	75	25	110	0,11
Mekhatria	P3	4	0	4	100	0	0	0
Mekhatria	P4	46	0	46	100	0	0	0
Mekhatria	P5	18	26	44	40,91	59,09	2282	2,28
Mekhatria	P6	46	0	46	100	0	0	0
Mekhatria	M	23,67	4,67	28,33	85,99	14,02	398,67	0,40
Mekhatria	ET	18,61	10,48	19,57	24,24	24,24	923,69	0,92

Bourached	P1	108	0	108	100	0	0	0
Bourached	P2	106	0	106	100	0	0	0
Bourached	P3	0	0	0	100	0	0	0
Bourached	P4	106	0	106	100	0	0	0
Bourached	P5	56	0	56	100	0	0	0
Bourached	P6	22	0	22	100	0	0	0
Bourached	M	66,33	0	66,33	100	0	0	0
Bourached	ET	47,66	0	47,65571	0	0	0	0
Arib	P1	28	63	91	30,77	69,23	12654	12,65
Arib	P2	0	0	0	100	0	0	0
Arib	P3	170	0	170	100	0	0	0
Arib	P4	42	0	42	100	0	0	0
Arib	P5	82	0	82	100	0	0	0
Arib	P6	48	0	48	100	0	0	0
Arib	M	61,67	10,50	72,17	88,46	11,54	2109,00	2,11
Arib	ET	59,43	25,72	57,84	28,26	28,26	5165,97	5,16
Djendel	P1	14	0	14	100	0	0	0
Djendel	P2	46	0	46	100	0	0	0
Djendel	P3	52	0	52	100	0	0	0
Djendel	P4	106	0	106	100	0	0	0
Djendel	P5	84	0	84	100	0	0	0
Djendel	P6	102	0	102	100	0	0	0
Djendel	M	67,33	0,00	67,33	100,00	0,00	0,00	0,00
Djendel	ET	47,66	0,00	47,66	0,00	0,00	0,00	0,00
Ain Soltane	P1	108	0	108	100	0	0	0
Ain Soltane	P2	76	0	76	100	0	0	0
Ain Soltane	P3	86	0	86	100	0	0	0
Ain Soltane	P4	166	0	166	100	0	0	0
Ain Soltane	P5	60	0	60	100	0	0	0
Ain Soltane	P6	108	0	108	100	0	0	0
Ain Soltane	M	100,67	0	100,67	100	0	0	0
Ain Soltane	ET	37,02	0	37,02	0	0	0	0

Zeddine	P1	84	0	84	100	0	0	0
Zeddine	P2	138	0	138	100	0	0	0
Zeddine	P3	156	0	160	100	0	0	0
Zeddine	P4	50	0	50	100	0	0	0
Zeddine	P5	124	0	124	100	0	0	0
Zeddine	P6	52	0	52	100	0	0	0
Zeddine	M	100,67	0	101,33	100	0	0	0
Zeddine	ET	45,20	0	46,19	0	0	0	0
Bir Ould Khelifa	P1	78	0	78	100	0	0	0
Bir Ould Khelifa	P2	22	0	22	100	0	0	0
Bir Ould Khelifa	P3	36	0	36	100	0	0	0
Bir Ould Khelifa	P4	78	0	78	100	0	0	0
Bir Ould Khelifa	P5	68	0	68	100	0	0	0
Bir Ould Khelifa	P6	18	0	18	100	0	0	0
Bir Ould Khelifa	M	50	0	50	100	0	0	0
Bir Ould Khelifa	ET	27,91	0	27,91	0	0	0	0

Annexe 3 : Résultats relatifs à la distribution verticales de kystes de *Globodera* spp. en fonction du pH et du taux de calcaire au cours de deux stades phénologiques de la culture de pomme de terre.

Stade de développement	parcelle	Profondeur (Cm)	pH	%CaCo3	Nombre de kystes
Stade1	Parcelle 1	0-15	6,54	10,37	32
Stade1	Parcelle 1	0-15	6,97	9,9	56
Stade1	Parcelle 1	0-15	6,97	9,9	45
Stade1	Parcelle 1	0-15	6,9	9,42	50
Stade1	Parcelle 1	0-15	6,75	10,37	23
Stade1	Parcelle 1	15-30	7,15	10,37	25
Stade1	Parcelle 1	15-30	6,48	9,9	29
Stade1	Parcelle 1	15-30	6,75	9,42	38
Stade1	Parcelle 1	15-30	7,2	9,9	39
Stade1	Parcelle 1	15-30	6,69	9,42	43
Stade1	Parcelle 1	30-45	6,57	9,42	42
Stade1	Parcelle 1	30-45	6,91	9,42	37
Stade1	Parcelle 1	30-45	6,47	9,42	52
Stade1	Parcelle 1	30-45	6,55	9,9	67
Stade1	Parcelle 1	30-45	6,45	9,42	32
Stade1	Parcelle 2	0-15	6,7	9,42	9
Stade1	Parcelle 2	0-15	6,72	8,95	0
Stade1	Parcelle 2	0-15	6,75	9,42	2
Stade1	Parcelle 2	0-15	6,65	9,9	6
Stade1	Parcelle 2	0-15	6,62	8,95	1
Stade1	Parcelle 2	15-30	6,54	9,9	14
Stade1	Parcelle 2	15-30	6,75	8,95	9
Stade1	Parcelle 2	15-30	6,15	9,9	5
Stade1	Parcelle 2	15-30	6,46	8,95	7
Stade1	Parcelle 2	15-30	4,65	8,95	6
Stade1	Parcelle 2	30-45	6,7	9,9	5
Stade1	Parcelle 2	30-45	6,49	9,42	9
Stade1	Parcelle 2	30-45	6,61	9,9	8
Stade1	Parcelle 2	30-45	6,54	9,42	4
Stade1	Parcelle 2	30-45	6,74	9,9	5
Stade1	Parcelle 3	0-15	6,4	4,24	22
Stade1	Parcelle 3	0-15	6,98	3,77	20
Stade1	Parcelle 3	0-15	6,43	4,24	29
Stade1	Parcelle 3	0-15	6,65	3,77	18
Stade1	Parcelle 3	0-15	6,48	4,24	33
Stade1	Parcelle 3	15-30	6,42	3,3	8
Stade1	Parcelle 3	15-30	7,06	3,77	40
Stade1	Parcelle 3	15-30	6,73	4,24	20
Stade1	Parcelle 3	15-30	7,2	3,3	37
Stade1	Parcelle 3	15-30	7,56	4,24	42
Stade1	Parcelle 3	30-45	5,97	5,65	14
Stade1	Parcelle 3	30-45	6,96	5,18	22
Stade1	Parcelle 3	30-45	6,48	4,71	18
Stade1	Parcelle 3	30-45	6,85	4,71	17

Stade1	Parcelle 3	30-45	6,79	5,18	18
Stade2	Parcelle 1	0-15	8,31	8,57	37
Stade2	Parcelle 1	0-15	8,36	8,14	41
Stade2	Parcelle 1	0-15	8,36	8,35	32
Stade2	Parcelle 1	0-15	8,34	8,57	30
Stade2	Parcelle 1	0-15	8,3	8,14	39
Stade2	Parcelle 1	15-30	8,38	8,57	10
Stade2	Parcelle 1	15-30	8,32	8,14	12
Stade2	Parcelle 1	15-30	8,33	8,35	32
Stade2	Parcelle 1	15-30	8,34	8,57	22
Stade2	Parcelle 1	15-30	8,4	8,57	31
Stade2	Parcelle 1	30-45	8,32	9	20
Stade2	Parcelle 1	30-45	8,35	8,75	18
Stade2	Parcelle 1	30-45	8,34	8,78	21
Stade2	Parcelle 1	30-45	8,38	8,78	28
Stade2	Parcelle 1	30-45	8,37	9	17
Stade2	Parcelle 2	0-15	8,25	6,85	6
Stade2	Parcelle 2	0-15	8,26	7,5	10
Stade2	Parcelle 2	0-15	8,25	7,71	9
Stade2	Parcelle 2	0-15	8,26	6,85	7
Stade2	Parcelle 2	0-15	8,28	6,85	6
Stade2	Parcelle 2	15-30	8,24	6	12
Stade2	Parcelle 2	15-30	8,27	6,85	9
Stade2	Parcelle 2	15-30	8,25	7,71	15
Stade2	Parcelle 2	15-30	8,27	7,5	11
Stade2	Parcelle 2	15-30	8,29	7,71	10
Stade2	Parcelle 2	30-45	8,23	6,85	10
Stade2	Parcelle 2	30-45	8,19	7,28	6
Stade2	Parcelle 2	30-45	8,22	7,71	7
Stade2	Parcelle 2	30-45	8,2	6,85	9
Stade2	Parcelle 2	30-45	8,24	6,85	8
Stade2	Parcelle 3	0-15	8,41	3,85	29
Stade2	Parcelle 3	0-15	8,4	3,42	21
Stade2	Parcelle 3	0-15	8,42	3	13
Stade2	Parcelle 3	0-15	8,49	3,64	12
Stade2	Parcelle 3	0-15	8,47	3,42	21
Stade2	Parcelle 3	15-30	8,34	3,85	10
Stade2	Parcelle 3	15-30	8,39	4,07	7
Stade2	Parcelle 3	15-30	8,37	3,64	10
Stade2	Parcelle 3	15-30	8,38	3,85	9
Stade2	Parcelle 3	15-30	8,4	4,07	11
Stade2	Parcelle 3	30-45	8,44	3,85	20
Stade2	Parcelle 3	30-45	8,29	4,28	26
Stade2	Parcelle 3	30-45	8,36	3,64	28
Stade2	Parcelle 3	30-45	8,32	3,64	22
Stade2	Parcelle 3	30-45	8,42	4,28	16

Annexe 4: Analyse des échantillons du sol de pomme de terre de semence de saison

Campagne agricole	Nombre d'échantillons analysés	Nombre d'échantillons infestés	Nombre d'échantillons non infestés	% des échantillons infestés	% des échantillons non infestés
2006-2007	31	13	18	41,94	58,06
2007-2008	271	51	220	18,82	81,18
2008-2009	19	3	16	15,79	84,21
2010-2011	314	52	262	16,56	83,44
2011-2012	411	89	322	21,65	78,35
2013-2014	851	25	826	2,94	97,06

Annexe 5: Analyse des échantillons du sol de pomme de terre de semence d'arrière saison

Campagne agricole	Nombre d'échantillons analysés	Nombre d'échantillons infestés	Nombre d'échantillon snon infestés	% des échantillons infestés	% des échantillons non infestés
2005-2006	109	43	66	39,45	60,55
2006-2007	125	0	125	0	100
2013-2014	851	25	826	2,94	97,06

Annexe 6: Analyse des tubercules de pomme de terre de semence de saison

Campagne agricole	Variétés	Nombre d'échantillons analysés	Nombre d'échantillon infestés	Nombre d'échantillon non infestés	% des échantillons infestés	% des échantillons non infestés
2007-2008	-	78	0	78	0	100
2008-2009	Spunta Bartina Desirée kondor Atlas	42	0	42	0	100

Annexe 7: Analyse des tubercules de pomme de terre de semence d'arrière saison

Campagne agricole	Variétés	Nombre d'échantillons analysés	Nombre d'échantillon infestés	Nombre d'échantillon non infestés	% des échantillons infestés	% des échantillons non infestés
2005-2006	-	55	0	55	0	100
2006-2007	-	161	0	161	0	100
2011-2012	Spunta A Kondor A Sarpomira A Desirée A Bartina A Atlas A Defla A Kuroda A Buren A Rodeo A Florice A	425	0	425	0	100

Fiche d'enquête sur les nématodes à kystes <i>Globodera</i> de la pomme de terre auprès de la l'INPV (Station Régionale de Chief)			
Date de la réalisation de l'enquête:			
Enquêteur :.....			
... Wilaya:			
.....			
Nématode concerné :			
<input checked="" type="radio"/> <i>Globodera</i> de la pomme de terre	<input type="radio"/> Autres		
<u>Réaction de l'agriculteur</u> <input type="radio"/> Favorable	<input type="radio"/> Défavorable		
<u>Analyse Nématologique appliquée</u>			
Type de culture concernée par l'analyse	<input type="radio"/> Saison	<input type="radio"/> Arrière saison	
	<input type="radio"/> Consommation	<input type="radio"/> Multiplication de semence	
Echantillonnage du sol	<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non	
<input type="radio"/> Avant la mise en place de la culture	<input type="radio"/> En cours de culture		
Technique d'échantillonnage.....			
Echantillonnage des racines	<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non	
A quel stade végétatif ?	<input type="radio"/> En cours de culture	<input type="radio"/> Fin de culture	
Résultats de l'analyse nématologique			
• Degré d'infestation			
<input type="radio"/>	Nombre de kystes/ Quantité du sol		
<input type="radio"/>	Nombre de juvéniles /Quantité du sol		
<input type="radio"/>	Aucune réponse		
Identification des espèces : <input type="radio"/> Réalisée <input type="radio"/> Non réalisée			
Espèces identifiées.....			
<u>Communication des résultats aux propriétaires des exploitations</u>			
Par quel moyen?.....			
<input type="radio"/> Par courrier	<input type="radio"/> Convocation	<input type="radio"/> Par déplacement	<input type="radio"/> Par le biais de la OSA
<u>Décision de l'organisme de contrôle</u>			
<input type="radio"/>	Interdiction de l'exploitation de la parcelle		
<input type="radio"/>	Conversion de la culture		
<input type="radio"/>	Autres		

**Fiche d'enquête sur les nématodes à kystes *Globodera*
de la culture de pomme de terre**

N° de la fiche.....

....."....."....."....."....."....."....."....."....."....."....."....."....."....."..... Date de sortie
:.....

Localisation

Wilaya..... ..Commune:..... Ville ou village proche.....

Type d'exploitation

- Statut: EAC
 EAI
 Privé
 Ferme pilote

Saison arrière saison Autres

Destination : Consommation Semences

Superficie étudiée..... ha

Superficie totale pomme de terre..... ha

Superficie totale plantes herbacées..... ha

Superficie totale exploitation..... ha

Niveau de technicité de Gérant

- Pas de formation
 Agriculteur qualifié
 Technicien
 Ingénieur Agronome

Caractéristiques du site et mode de conduite de la culture

Culture en place.....Variété.....

Précédant cultural (n°1)Variété.....

Précédant cultural (n°2)Variété.....

Précédant cultural (n°3)Variété.....

Précédant cultural (n°4)Variété.....

Précédant cultural (n°5)Variété.....

Système de culture Intensif Extensif traditionnel

Environnement de la parcelle

Même culture

Autre culture

Autres

Bordure : Oui non

Texture du sol ...

Mécanisation Oui non

Type d'irrigation absence d'irrigation rigoles aspersion goutte

Plantes associées aucune principales adventices.....

Cultures.. Arbres fruitiers.....

Pratique de la jachère oui non

Type de jachère travaillée non travaillée

Type de labour Profond labour d'été

Type de charrue A disque Asoc

Connaissance des nématodes à kvstes *Globodera*

Connaissez-vous les Nématodes *Globodera* ? Oui Non

Depuis quand?.....

Comment vous les appelez? En Français.....

En arabe.....

Dialecte local (*Derdja*).....

Quelle est leur forme ?

Quelle est leur couleur ?.....

Quels sont les symptômes de ces nématodes?

Sur feuilles.....

Sur racines.....

Avez-vous réalisé une analyse nématologique

Qui a fait l'analyse?.....

Quant ?.....Résultat de l'analyse Opositif Qatif

Méthodes de lutttes utilisées contre les nématodes

Lune préventive

Rotation culturale Monoculture Polyculture Jachère c:Jabour d'été

Désinfection du sol : avant culture en cours de culture autre

Nématicide utilisé.....Dose.....

Nom commercial Matière active Mode d'action

Mode d'application

Plante nématocide oui non

Biofumigation oui non

Traitement du sol en cours de culture oui non

Produit utilisé.....Dose.....

Mode d'applicationNombre de traitements.....Alternance.....

Amendement

MinéralDose.....

Organique.....Dose.....

Fertigation.....Dose.....

Autres traitement

InsecticidesFréquence.....Effet nématocide oui non

FongicidesFréquences..... Effet nématocide : oui non

HerbicidesFréquence.....Effet nématocide oui non

AutresFréquence..... Effet nématocide oui non

Annexe 10 : Fixation des juvéniles

I. Tuer et fixer les nématodes

Solution fixatrice (la préparation doit se faire sous une hotte)

Solution F.A. 4 :1 (Hoopper, 1970)

- Formalin (Formaldehyde 40%).....10 ml
 - Acide Acetico glacial (ou acide propionique).....1ml
 - Eau distillée.....porter à 100 ml
1. Préparer les échantillons à fixer : les mettre dans de petits disques en verre dans une goutte d'eau.
 2. Mélanger bien la solution préparée puis la chauffer à 90° jusqu'à début d'ébullition ensuite la verser sur l'échantillon préparé puis le couvrir « on peut utiliser des lamelles pour couvrir). Et laisser cette préparation au moins 2 jours.
 3. Mettre les disques qui contiennent les nématodes dans un dessiccateur qui contient de l'alcool 98% et les mettre dans une étuve à 45 à 50 ° et laisser s'imprégner d'alcool pendant une nuit (on ne couvre pas les disques).
 4. Quant la première solution s'est à moitié évaporée, on ajoute une goutte d'une solution qui contient :
 - Ethanol 96%.....20 ml
 - Glycérol.....1ml
 - Eau distillée.....79 ml

Laisser les échantillons 24 h

5. Enlever les disques (contenant les nématodes) du dessiccateur, les mettre 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 ½ heure ou une heure au moins 4 fois (on doit vérifier les échantillons pour qu'ils ne se dessèchent pas. (il ne faut pas trop remplir les disques)
6. Rabaisser la température à 40% et laisser l'eau et l'alcool s'évaporer jusqu'à ce qu'il ne reste dans les disques que les nématodes dans la goutte de glycérol.

II. Préparation des lames

1. Mettre un cercle de paraffine sur une lame.
2. Mettre une goutte de glycérine dans le cercle.
3. Mettre les nématodes déjà fixés sur la glycérine à l'aide d'un cil monté sur une aiguille en acier.
4. Couvrir avec une lamelle.
5. Mettre la lame sur une plaque chauffante (50°) jusqu'à ce que la paraffine fonde et se répartit autour de la glycérine pour maintenir lame et lamelle.

Annexe 11 : Données morphométriques (en µm) des kystes des quelques populations algériennes (Ain Defla) de nématodes à kyste *Globodera* spp. (L : longueur des kystes ; Larg. : largeur des kystes, L. cou : Longueur du cou)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Ain Defla (ADG1)	L.	562,5	562,5	585,0	551,3	540,0	495,0	528,8	472,5	641,3	540,0	517,5	630,0	596,3	607,5	607,5	607,5	652,5	607,5	585,0	585,0	630,0	517,5	675,0	562,5	607,5	540,0	472,5	450,0	540,0	517,5
	Larg.	540,0	540,0	562,5	551,3	517,5	472,5	483,8	472,5	585,0	551,3	540,0	630,0	585,0	652,5	641,3	630,0	652,5	495,0	585,0	652,5	585,0	641,3	495,0	562,5	427,5	427,5	450,0	517,5	596,3	
	L. cou	22,5	135,0	90,0	45,0	67,5	67,5	135,0	123,8	67,5	135,0	67,5	67,5	67,5	123,8	67,5	67,5	67,5	67,5	112,5	45,0	67,5	168,8	90,0	90,0	67,5	112,5	67,5	67,5	56,3	101,3
Ain Defla ADG2	L.	450,0	382,5	427,5	596,3	607,5	562,5	630,0	472,5	585,0	562,5	461,3	585,0	483,8	495,0	495,0	517,5	652,5	596,3	540,0	472,5	607,5	540,0	596,3	416,3	585,0	540,0	585,0	517,5	567,0	562,5
	Larg.	427,5	405,0	405,0	540,0	596,3	540,0	618,8	495,0	607,5	562,5	472,5	562,5	686,3	405,0	517,5	517,5	720,0	573,8	573,8	562,5	697,5	517,5	517,5	416,3	540,0	438,8	519,8	495,0	495,0	551,3
	L. cou	67,5	90,0	67,5	101,3	90,0	90,0	33,8	112,5	78,8	112,5	33,8	78,8	78,8	146,3	90,0	135,0	67,5	56,3	45,0	67,5	168,8	146,3	78,8	90,0	90,0	112,5	112,5	67,5	112,5	90,0
Ain Defla ADG3	L.	495,0	573,8	609,8	742,5	472,5	495,0	677,3	607,5	585,0	573,8	585,0	540,0	517,5	607,5	607,5	630,0	607,5	540,0	585,0	585,0	630,0	603,0	549,0	562,5	585,0	630,0	562,5	540,0	540,0	569,3
	Larg.	528,8	585,0	607,5	765,0	472,5	562,5	562,5	607,5	596,3	567,0	596,3	450,0	495,0	630,0	630,0	630,0	607,5	506,3	585,0	506,3	630,0	573,8	607,5	517,5	573,8	517,5	560,3	513,0	544,5	562,5
	L. cou	101,3	72,0	47,3	45,0	130,5	112,5	78,8	94,5	114,8	90,0	45,0	112,5	47,3	132,8	90,0	45,0	47,3	90,0	67,5	78,8	126,0	135,0	67,5	112,5	78,8	67,5	67,5	108,0	60,8	94,5
Ain Defla ADG4	L.	607,5	585,0	589,5	720,0	607,5	564,8	607,5	708,8	607,5	609,8	562,5	540,0	492,8	585,0	630,0	517,5	630,0	580,5	517,5	573,8	558,0	627,8	585,0	630,0	668,3	573,8	630,0	472,5	598,5	477,0
	Larg.	540,0	603,0	573,8	562,5	697,5	540,0	562,5	652,5	580,5	652,5	567,0	540,0	495,0	573,8	618,8	506,3	630,0	576,0	585,0	472,5	562,5	630,0	585,0	618,8	675,0	585,0	567,0	477,0	630,0	429,8
	L. cou	90,0	112,5	67,5	108,0	45,0	90,0	67,5	90,0	67,5	33,8	49,5	112,5	67,5	72,0	67,5	78,8	90,0	51,8	45,0	90,0	101,3	135,0	117,0	67,5	112,5	67,5	157,5	146,3	112,5	90,0
Ain Defla ADG5	L.	637,8	504,6	476,6	541,0	615,4	446,4	492,4	439,1	633,3	483,2	492,5	568,5	453,2	490,3	464,5	461,5	525,6	624,3	509,8	555,7	524,0	434,3	378,7	596,9	417,5	456,7	414,6	626,9	447,6	570,3
	Larg.	570,4	530,6	479,1	515,8	542,2	504,9	467,2	466,8	618,1	455,9	485,5	487,6	462,4	445,2	407,8	467,1	517,6	583,8	482,8	507,3	482,2	435,9	369,4	509,5	356,7	473,2	386,5	660,4	397,2	552,2
	L. cou	140,1	58,8	86,1	133,6	73,1	180,3	97,3	117,9	74,5	79,2	143,9	112,0	87,3	54,7	124,4	113,8	112,6	139,9	71,6	86,5	91,2	57,0	135,4	95,5	91,5	107,6	138,4	109,8	92,2	113,5
Ain Defla ADG6	L.	373,7	462,2	504,5	466,5	477,9	460,1	571,4	598,3	467,4	425,3	555,8	568,9	603,1	507,3	474,3	420,0	558,7	538,1	617,8	697,3	495,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Larg.	298,2	457,4	477,3	476,6	487,5	476,8	535,7	681,4	447,8	378,4	543,9	537,4	667,4	527,2	449,7	399,1	475,1	505,1	586,9	721,4	414,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L. cou	144,6	157,6	117,5	48,6	51,7	68,8	131,0	54,4	95,6	59,4	150,2	138,4	54,4	141,1	111,1	51,7	118,8	40,1	42,9	31,3	90,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
El Amra EAG1	L.	427,5	405,0	645,8	596,3	697,5	596,3	585,0	517,5	540,0	495,0	495,0	697,5	528,8	675,0	495,0	630,0	551,3	630,0	472,5	652,5	517,5	675,0	576,0	562,5	461,3	562,5	607,5	641,3	495,0	517,5
	Larg.	371,3	360,0	697,5	562,5	657,0	551,3	562,5	461,3	483,8	427,5	427,5	675,0	585,0	697,5	472,5	639,0	585,0	652,5	472,5	697,5	585,0	632,3	607,5	607,5	438,8	528,8	585,0	630,0	517,5	483,8
	L. cou	123,8	112,5	157,5	114,8	67,5	112,5	90,0	112,5	135,0	108,0	67,5	112,5	90,0	128,3	137,3	101,3	157,5	90,0	135,0	112,5	67,5	112,5	135,0	114,8	90,0	112,5	135,0	103,5	110,3	117,0
El Amra EAG2	L.	483,8	450,0	607,5	652,5	607,5	596,3	540,0	607,5	405,0	607,5	450,0	517,5	472,5	630,0	472,5	438,8	551,3	585,0	450,0	630,0	463,5	630,0	573,8	472,5	492,8	510,8	477,0	506,3	472,5	609,8
	Larg.	450,0	472,5	596,3	607,5	630,0	551,3	506,3	630,0	382,5	540,0	652,5	472,5	445,5	573,8	490,5	450,0	562,5	562,5	450,0	607,5	438,8	596,3	517,5	405,0	360,0	528,8	450,0	540,0	472,5	596,3
	L. cou	45,0	90,0	45,0	67,5	112,5	123,8	56,3	90,0	90,0	90,0	135,0	157,5	112,5	56,3	85,5	67,5	135,0	112,5	123,8	157,5	101,3	135,0	123,8	67,5	101,3	78,8	90,0	135,0	180,0	56,3
El Amra EAG3	L.	573,8	506,3	585,0	630,0	618,8	573,8	675,0	540,0	562,5	607,5	742,5	607,5	585,0	650,3	675,0	618,8	562,5	675,0	607,5	675,0	630,0	607,5	652,5	461,3	585,0	562,5	540,0	607,5	675,0	675,0
	Larg.	562,5	585,0	578,3	652,5	652,5	540,0	654,8	562,5	562,5	607,5	573,8	540,0	549,0	641,3	843,8	607,5	551,3	641,3	495,0	652,5	607,5	585,0	663,8	472,5	585,0	585,0	540,0	551,3	648,0	697,5
	L. cou	112,5	90,0	157,5	90,0	90,0	90,0	45,0	90,0	108,0	67,5	112,5	135,0	90,0	90,0	112,5	92,3	45,0	45,0	90,0	67,5	72,0	90,0	56,3	101,3	45,0	45,0	45,0	101,3	112,5	78,8

El Amra EAG4	L.	490,8	638,5	657,3	519,7	495,7	383,2	401,9	465,4	430,0	537,8	679,1	614,2	494,2	665,8	553,3	468,9	692,2	492,0	513,1	449,7	374,4	413,5	515,6	564,4	609,9	526,7	405,1	535,1	445,0	360,8
	Larg.	520,3	637,3	644,9	445,2	493,9	355,0	349,9	426,7	344,4	460,5	645,0	634,7	498,3	660,8	568,2	406,8	689,9	445,8	556,8	372,6	394,1	408,6	496,6	539,4	638,5	489,4	400,2	535,2	400,6	325,9
	L. cou	67,6	52,6	43,5	39,2	155,8	92,3	100,3	99,8	56,7	86,1	53,7	78,0	76,1	93,4	141,1	126,9	87,7	195,2	132,8	118,5	87,7	97,4	63,2	82,7	103,2	61,5	90,0	83,0	130,3	45,2
Rouina	L.	495,0	589,5	517,5	540,0	585,0	630,0	573,8	652,5	675,0	551,3	427,5	506,3	585,0	585,0	517,5	528,8	641,3	607,5	686,3	562,5	573,8	454,5	495,0	672,8	562,5	562,5	562,5	652,5	652,5	697,5
	Larg.	517,5	585,0	540,0	544,5	540,0	540,0	540,0	652,5	630,0	540,0	405,0	540,0	585,0	585,0	517,5	540,0	573,8	490,5	562,5	562,5	497,3	427,5	495,0	659,3	630,0	506,3	472,5	630,0	630,0	720,0
	L. cou	90,0	112,5	45,0	90,0	49,5	195,8	157,5	108,0	180,0	67,5	112,5	67,5	90,0	78,8	45,0	90,0	90,0	90,0	114,8	112,5	135,0	90,0	112,5	67,5	112,5	182,3	112,5	78,8	108,0	110,3
Rouina	L.	483,8	596,3	461,3	562,5	693,0	742,5	630,0	607,5	663,8	654,8	708,8	585,0	585,0	652,5	618,8	585,0	652,5	569,3	562,5	495,0	630,0	517,5	517,5	427,5	477,0	652,5	517,5	614,3	625,5	618,8
	Larg.	472,5	648,0	477,0	540,0	675,0	697,5	652,5	675,0	528,8	675,0	697,5	562,5	630,0	607,5	596,3	585,0	630,0	472,5	499,5	472,5	585,0	517,5	472,5	405,0	490,5	562,5	517,5	517,5	573,8	630,0
	L. cou	83,3	112,5	63,0	45,0	101,3	45,0	45,0	45,0	67,5	33,8	56,3	94,5	67,5	45,0	45,0	135,0	67,5	85,5	72,0	56,3	123,8	67,5	63,0	90,0	67,5	56,3	60,8	45,0	94,5	72,0
Rouina	L.	593	556,5	585,9	501,4	580,7	597,6	602,8	503,7	567	554	669,2	514,5	642,3	693	661	572,1	543,5	456,3	563,2	609	497,2	577	391	668,8	426,7	510,3	590,5	576	512,6	480,9
	Larg.	556,8	604,4	409,2	507,3	588,6	572	633,2	456,2	511,6	602,5	648	420,8	697,9	689,3	629	609,5	559,5	417,6	542	601,7	498,4	568,7	390,5	633,7	431,6	507,6	391,4	587,9	515,8	478,7
	L. cou	152,2	99,4	88,9	112,4	109,9	130,3	153	65,5	64,7	104	118,7	86	101,5	67	164,5	59,9	30	190,4	85,2	102,3	61	54,3	117,6	139,4	90,4	90,6	116,5	109,8	77	83,8
Rouina	l	636,5	591,2	476,4	564,2	527,4	537,6	549,2	574,5	448,8	509,6	677,9	503,5	611,8	550,2	432,6	610,3	404,2	615,8	570,7	554,9	578,1	533,2	531,7	396,8	525,9	563,9	503,9	536,2	420,8	541,1
	Larg.	653,7	560,5	479,2	417,6	468,6	517,4	509,8	494,1	423,9	526,7	624,7	461,2	603,4	548	407	643,5	406,8	614,4	526,5	422,9	548,9	467,2	515,4	443,6	540,8	590,9	500	545,3	340,2	537,2
	L. cou	139,2	128,7	104,4	90,6	105,8	57,6	82,7	119,3	79,3	54,7	84,1	95,4	84,5	185,3	104,2	96,9	112,2	61,8	65,1	105,7	65	86	68,9	96,9	74,8	69,8	96,4	37	36,2	105,4
Mekhatr ia	L.	517,5	630,0	652,5	675,0	585,0	630,0	517,5	483,8	540,0	562,5	607,5	540,0	472,5	517,5	517,5	607,5	517,5	742,5	483,8	450,0	686,3	405,0	641,3	522,0	472,5	517,5	472,5	405,0	697,5	607,5
	Larg.	495,0	585,0	697,5	630,0	607,5	641,3	506,3	517,5	562,5	585,0	630,0	517,5	528,8	517,5	585,0	506,3	585,0	585,0	427,5	382,5	607,5	360,0	562,5	495,0	519,8	495,0	483,8	382,5	585,0	540,0
	L. cou	135,0	90,0	90,0	135,0	90,0	90,0	90,0	67,5	94,5	92,3	90,0	112,5	67,5	112,5	112,5	90,0	45,0	67,5	112,5	135,0	90,0	90,0	101,3	90,0	67,5	180,0	180,0	78,8	63,0	56,3
Arib	L.	480,9	472,5	427,1	473,9	395,6	502,8	740,4	600,4	482,2	505,6	386,7	635,6	611,3	483,8	570,3	540,6	542,7	575,5	498,4	610,2	323,5	616,0	491,5	545,1	417,5	456,7	414,6	626,9	447,6	570,3
	Larg.	445,3	443,2	368,1	446,0	361,3	533,5	610,6	621,0	443,0	466,5	384,5	604,0	573,6	471,7	539,5	528,1	514,1	499,9	473,8	509,1	503,8	605,8	409,9	482,7	356,7	473,2	336,5	660,4	397,2	552,2
	L. cou	56,7	97,8	136,3	92,9	114,0	89,3	63,2	107,1	63,2	91,8	98,5	109,7	83,4	82,6	112,2	127,1	130,6	96,2	106,4	128,0	157,2	120,3	167,0	70,3	91,5	107,6	138,4	109,8	92,2	113,5

(L : longueur des kystes ; Larg. : largeur des kystes, L. cou : Longueur du cou)

Annexe 12 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population ADG1 d'Ain Defla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus-vulve) (µm)	43,50	46,40	55,60	42,70	49,90	59,60	57,60	51,50	48,60	52,80	49,10	58,60	43,60	53,20	46,60	60,70	46,70	38,70	56,90	50,70	50,65	6,21	38,70	60,70
Longueur de la fenêtre (µm)	23,60	19,70	22,40	23,40	22,20	28,30	20,30	26,80	23,40	23,50	28,10	25,90	20,90	22,70	19,40	23,30	28,30	24,70	33,50	34,60	24,75	4,16	19,40	34,60
Le rapport Granek	1,84	2,36	2,48	1,82	2,25	2,11	2,84	1,92	2,08	2,25	1,75	2,26	2,09	2,34	2,40	2,61	1,65	1,57	1,70	1,47	2,09	0,37	1,47	2,84
Nombre de stries	11	12	13	11	15	13	15	11	12	13	14	16	9	10	13	16	12	10	11	12	12,45	1,99	9,00	16,00
Longueur du stylet (µm)	22,80	22,23	22,80	23,37	23,94	24,51	24,23	23,94	22,80	23,66	22,52	23,37	23,37	22,80	23,09	23,94	23,66	23,37	23,94	23,66	23,40	0,61	22,23	24,51
Longueur du Corps (µm)	422,54	433,96	496,77	376,86	422,54	496,77	445,38	468,22	445,38	433,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	444,24	36,19	376,86	496,77
Largeur maximale du corps (µm)	17,67	16,53	19,95	19,95	18,24	19,95	20,52	19,95	19,95	18,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,15	1,29	16,53	20,52
Largeur du corps à l'anus (µm)	10,26	10,26	11,4	10,83	10,26	12,54	11,97	12,54	11,97	11,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,40	0,93	10,26	12,54
Longueur de la queue	38,19	45,6	46,74	39,9	43,32	58,14	43,89	39,9	50,16	41,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,69	5,96	38,19	58,14
Longueur de la partie hyaline de la queue	21,768	25,992	26,642	22,743	24,692	33,14	25,017	22,743	28,591	23,393	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,47	3,40	21,77	33,14
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	23,913	26,253	24,901	18,89	23,166	24,901	21,705	23,47	22,325	23,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,26	2,03	18,89	26,25
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	11,06	9,52	10,63	9,45	9,75	8,54	10,15	11,73	8,88	10,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,03	0,99	8,54	11,73
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,72	4,44	4,10	3,68	4,22	4,64	3,67	3,18	4,19	3,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,93	0,46	3,18	4,64

Annexe 13: Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population ADG2 d'Ain Defla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus-vulve) (µm)	50,1	70,5	45,8	63,3	53,0	66,4	49,1	60,0	41,6	54,7	47,0	51,6	46,2	72,2	70,9	57,1	52,4	51,9	56,5	58,7	55,95	8,92	41,60	72,20
Longueur de la fenêtre (µm)	25,3	29,5	24,7	37,9	27,5	23,2	27,1	26,7	27,3	29,1	26,2	27,9	21,7	27,2	36,6	28,5	17,8	16,8	29,7	22,0	26,64	5,10	16,80	37,90
Le rapport Granek	1,98	2,39	1,85	1,67	1,93	2,86	1,81	2,25	1,52	1,88	1,79	1,85	2,13	2,65	1,94	2,00	2,94	3,09	1,90	2,67	2,16	0,45	1,52	3,09
Nombre de stries	13	16	9	15	12	12	12	13	10	14	12	10	12	17	17	11	8	9	10	11	12,15	2,60	8,00	17,00
Longueur du stylet (µm)	24,51	24,225	24,225	24,51	23,94	23,94	22,8	23,085	22,515	23,37	22,8	22,515	22,8	22,23	22,8	23,94	23,37	22,8	23,37	22,8	23,33	0,72	22,23	24,51
Longueur du Corps (µm)	491,06	439,67	451,09	422,54	416,83	428,25	411,12	393,99	419,69	473,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	434,82	29,73	393,99	491,06
Largeur maximale du corps (µm)	18,24	18,525	19,38	17,1	17,67	19,95	19,95	18,24	19,95	19,665	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,87	1,05	17,10	19,95
Largeur du corps à l'anus (µm)	11,4	11,97	11,97	12,54	11,97	12,54	11,97	10,83	12,54	12,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,03	0,57	10,83	12,54
Longueur de la queue (µm)	44,46	52,44	44,46	49,02	46,74	49,02	46,455	43,89	49,305	48,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,42	2,71	43,89	52,44
Longueur de la partie hyaline de la queue	29,07	27,93	24,51	24,51	27,075	22,8	29,07	25,365	27,36	29,925	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,76	2,36	22,80	29,93
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	26,922	23,734	23,276	24,71	23,59	21,466	20,608	21,6	21,037	24,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,10	1,95	20,61	26,92
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	11,045	8,3842	10,146	8,6197	8,9181	8,7362	8,8499	8,9768	8,512	9,7818	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,20	0,86	8,38	11,04
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,9	4,381	3,7143	3,9091	3,9048	3,9091	3,881	4,0526	3,9318	3,8636	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,94	0,17	3,71	4,38

Annexe 14: Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population ADG3 d'Ain Defla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.	
Distance (anus-vulve) (µm)	47,7	47,7	60,2	49,8	70,4	37,1	65,6	60,6	88,9	59,5	48,7	61,0	39,7	44,5	50,0	66,8	63,1	74,1	74,6	60,8	58,54	13,00	37,10	88,90	
Longueur de la fenêtre (µm)	20,9	21,9	25,9	25,5	21,5	19,2	28,9	20,1	26,9	23,8	25,7	21,6	25,4	25,0	23,0	43,6	26,9	34,2	28,8	26,3	25,76	5,49	19,20	43,60	
Le rapport Granek	2,28	2,18	2,32	1,95	3,27	1,93	2,27	3,01	3,30	2,50	1,89	2,82	1,56	1,78	2,17	1,53	2,35	2,17	2,59	2,31	2,31	0,50	1,53	3,30	
Nombre de stries	14	9	11	9	16	9	14	15	16	12	10	16	9	10	13	12	13	16	12	10	12,30	2,62	9,00	16,00	
Longueur du stylet (µm)	22,80	22,80	22,91	23,37	22,80	22,80	23,94	23,37	22,80	22,80	23,37	23,94	23,09	22,80	23,37	22,80	23,37	22,97	23,09	23,09	23,11	0,37	22,80	23,94	
Longueur du Corps (µm)	508,19	382,57	388,28	485,35	393,99	382,57	405,41	382,57	393,99	451,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	417,40	46,81	382,57	508,19
Largeur maximale du corps (µm)	18,24	15,96	17,67	18,24	19,95	17,67	19,665	16,53	19,38	17,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,04	1,33	15,96	19,95
Largeur du corps à l'anus (µm)	12,54	11,97	10,545	12,54	9,69	9,69	11,97	11,97	13,11	12,255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,63	1,22	9,69	13,11
Longueur de la queue	39,9	42,75	41,61	57	45,6	39,9	44,46	43,32	42,18	46,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,35	4,97	39,90	57,00
Longueur de la partie hyaline de la queue	21,66	22,23	21,375	23,94	25,08	25,65	26,79	19,95	25,08	22,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,40	2,22	19,95	26,79
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	27,861	23,971	21,974	26,609	19,749	21,651	20,616	23,144	20,33	26,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,23	2,88	19,75	27,86
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	12,74	8,95	9,33	8,51	8,64	9,59	9,12	8,83	9,34	9,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,47	1,21	8,51	12,74
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,18	3,57	3,95	4,55	4,71	4,12	3,71	3,62	3,22	3,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,84	0,50	3,18	4,71

Annexe 15 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population ADG4 d'Ain Defla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.	
Distance (anus-vulve) (µm)	55,0	59,6	63,0	51,6	49,9	43,8	64,9	64,3	62,9	82,5	66,3	57,7	83,0	48,7	71,5	84,3	82,5	72,9	65,7	63,9	64,70	11,99	43,80	84,30	
Longueur de la fenêtre (µm)	29,4	25,3	21,2	24,3	25,4	18,3	36,0	27,9	27,7	30,2	26,1	27,3	32,2	13,7	31,7	26,5	26,0	37,2	36,7	19,2	27,12	6,10	13,70	37,20	
Le rapport Granek	1,87	2,36	2,97	2,12	1,96	2,39	1,80	2,30	2,27	2,73	2,54	2,11	2,58	3,55	2,26	3,18	3,17	1,96	1,79	3,33	2,46	0,53	1,79	3,55	
Nombre de stries	13	13	12	11	12	12	13	12	14	13	17	17	13	19	9	9	18	11	14	15	13,35	2,72	9,00	19,00	
Longueur du stylet (µm)	22,23	23,37	23,94	22,80	22,80	23,94	22,23	22,23	22,23	23,37	23,94	22,80	22,80	23,37	23,37	24,23	23,94	23,09	23,94	24,23	23,24	0,70	22,23	24,23	
Longueur du Corps (µm)	433,96	359,73	399,7	433,96	376,86	422,54	433,96	422,54	399,7	445,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	412,83	27,98	359,73	445,38
Largeur maximale du corps (µm)	18,24	19,95	15,96	17,1	15,96	19,95	17,67	19,38	18,24	20,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,30	1,64	15,96	20,52
Largeur du corps à l'anus (µm)	11,97	12,54	11,97	12,54	11,97	11,97	11,4	11,97	12,255	12,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,11	0,36	11,40	12,54
Longueur de la queue	39,9	39,045	42,75	43,32	34,2	51,3	55,86	52,44	49,59	51,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,97	7,07	34,20	55,86
Longueur de la partie hyaline de la queue	21,66	22,515	22,23	21,09	19,38	32,49	23,94	22,8	27,075	26,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,00	3,82	19,38	32,49
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	23,79	18,03	25,04	25,38	23,61	21,18	24,56	21,80	21,91	21,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,70	2,23	18,03	25,38
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	10,88	9,21	9,35	10,02	11,02	8,24	7,77	8,06	8,06	8,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,13	1,18	7,77	11,02
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,3333	3,1136	3,5714	3,4545	2,8571	4,2857	4,9	4,381	4,0465	4,0909	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,80	0,64	2,86	4,90

Annexe 16 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population ADG5 d'Ain Defla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus-vulve) (µm)	57,2	78,7	43,2	48,0	59,3	90,2	77,6	40,3	48,9	58,7	29,9	40,9	57,9	50,1	51,5	71,5	93,0	68,6	59,3	52,9	58,88	16,68	29,90	92,95
Longueur de la fenêtre (µm)	27,5	37,1	24,2	29,0	18,0	25,0	37,7	22,5	27,0	21,9	23,6	19,2	21,5	32,9	16,4	22,9	28,6	24,3	20,7	20,0	25,00	5,82	16,45	37,70
Le rapport Granek	2,08	2,12	1,79	1,66	3,29	3,61	2,06	1,79	1,81	2,68	1,27	2,13	2,70	1,52	3,13	3,13	3,25	2,82	2,86	2,64	2,42	0,68	1,27	3,61
Nombre de stries	11	15	11	8	15	23	20	8	12	13	7	11	16	11	12	16	20	16	16	12	13,65	4,22	7,00	23,00
Longueur du stylet (µm)	21,6	20,3	21,7	21,9	21,6	21,4	22,3	20,1	22	24	24,5	24,5	23,4	24,3	22,8	22,8	22,8	23,37	22,8	22,8	22,55	1,26	20,10	24,50
Longueur du Corps (µm)	513,9	416,83	416,83	354,02	433,96	405,41	428,25	393,99	462,51	393,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	421,97	43,19	354,02	513,90
Largeur maximale du corps (µm)	20,235	20,52	19,38	17,1	19,95	19,38	19,665	18,81	19,95	19,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,49	0,97	17,10	20,52
Largeur du corps à l'anus (µm)	12,54	12,54	11,97	11,4	11,97	11,685	11,97	11,4	12,54	12,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,06	0,47	11,40	12,54
Longueur de la queue	53,58	45,6	51,87	46,74	47,31	48,45	49,02	46,17	47,595	44,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,08	2,81	44,46	53,58
Longueur de la partie hyaline de la queue	27,93	25,65	30,495	20,52	28,5	28,5	30,21	29,64	29,64	30,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,13	3,04	20,52	30,50
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	25,397	20,313	21,508	20,703	21,752	20,919	21,777	20,946	23,183	19,749	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,62	1,62	19,75	25,40
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	9,5913	9,141	8,0361	7,5742	9,1727	8,3676	8,7362	8,5335	9,7176	8,8617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,77	0,67	7,57	9,72
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	4,2727	3,6364	4,3333	4,1	3,9524	4,1463	4,0952	4,05	3,7955	3,5455	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,99	0,26	3,55	4,33

Annexe 17 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population ADG6 d'Ain Defla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus-vulve) (µm)	52,4	60,0	61,1	41,1	56,2	32,0	39,0	82,7	64,8	51,7	61,1	117,3	158,7	72,9	91,5	90,1	36,5	68,6	61,0	68,0	68,34	29,61	32,00	158,73
Longueur de la fenêtre (µm)	17,3	19,1	27,3	19,0	20,1	16,2	20,0	31,0	19,8	21,8	22,1	23,6	28,6	17,9	17,2	24,3	21,5	17,2	17,2	21,5	21,12	4,10	16,20	31,00
Le rapport Granek	3,03	3,14	2,24	2,16	2,80	1,98	1,95	2,67	3,27	2,37	2,76	4,97	5,55	4,08	5,33	3,71	1,70	4,00	3,55	3,17	3,22	1,12	1,70	5,55
Nombre de stries	14	16	11	9	16	9	7	14	11	11	13	27	33	18	19	20	12	16	20	30	16,30	7,02	7,00	33,00
Longueur du stylet (µm)	20,52	22,80	21,09	22,23	20,52	20,81	20,52	23,94	23,37	23,37	23,37	22,52	22,80	22,80	23,09	22,8	22,8	22,8	23,09	22,8	22,40	1,08	20,52	23,94
Longueur du Corps (µm)	388,28	451,09	393,99	388,28	416,83	422,54	382,57	405,41	451,09	451,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	415,12	27,85	382,57	451,09
Largeur maximale du corps (µm)	15,96	18,24	20,52	20,52	19,95	19,95	19,95	19,95	19,38	17,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,15	1,55	15,96	20,52
Largeur du corps à l'anus (µm)	10,26	10,26	12,54	11,4	10,83	11,97	12,825	12,255	11,97	11,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,63	0,91	10,26	12,83
Longueur de la queue	34,2	38,76	41,04	43,32	41,61	54,15	36,48	48,45	45,6	36,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,01	6,12	34,20	54,15
Longueur de la partie hyaline de la queue	22,8	22,23	21,66	22,8	22,8	32,49	19,95	25,08	28,5	22,515	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,08	3,73	19,95	32,49
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	24,328	24,731	19,2	18,922	20,894	21,18	19,176	20,321	23,276	26,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,84	2,65	18,92	26,38
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	11,353	11,638	9,6001	8,9631	10,018	7,8031	10,487	8,3676	9,8923	12,365	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,05	1,46	7,80	12,37
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,3333	3,7778	3,2727	3,8	3,8421	4,5238	2,8444	3,9535	3,8095	3,0476	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	2,84	4,52

Annexe 18: Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population EAG1 d’El Amra.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus–vulve) (µm)	44,5	53,1	58,1	59,3	42,3	36,3	104,5	42,4	103,6	40,7	52,7	41,7	77,9	63,0	64,0	59,4	39,4	46,4	61,8	54,0	57,26	19,14	36,30	104,50
Longueur de la fenêtre (µm)	16,7	24,8	21,9	22,5	16,5	16,4	26,5	14,9	22,2	14,8	28,5	18,9	26,0	21,9	23,6	22,4	25,6	20,1	16,2	26,5	21,35	4,31	14,80	28,50
Le rapport Granek	2,66	2,14	2,65	2,64	2,56	2,21	3,94	2,85	4,67	2,75	1,85	2,21	3,00	2,88	2,71	2,65	1,54	2,31	3,81	2,04	2,70	0,74	1,54	4,67
Nombre de stries	12	10	13	12	11	8	22	12	24	10	11	13	14	16	14	12	10	11	17	12	13,20	3,96	8,00	24,00
Longueur du stylet (µm)	24,51	24,51	23,37	23,37	24,51	24,396	24,51	23,655	24,51	23,94	23,37	22,23	22,8	23,37	22,8	23,37	24,225	24,51	23,37	23,94	23,76	0,69	22,23	24,51
Longueur du Corps (µm)	416,83	479,64	433,96	376,86	405,41	376,86	508,19	411,12	513,9	405,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	432,82	50,49	376,86	513,90
Largeur maximale du corps (µm)	18,81	19,38	20,52	18,81	19,665	18,525	18,24	19,38	17,955	21,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,24	0,99	17,96	21,09
Largeur du corps à l’anus (µm)	12,54	12,54	11,97	10,545	12,825	11,4	12,54	12,825	10,545	13,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,08	0,94	10,55	13,11
Longueur de la queue	54,72	49,02	49,59	38,76	45,6	34,77	47,88	47,595	47,31	41,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,69	5,80	34,77	54,72
Longueur de la partie hyaline de la queue	29,64	22,8	29,07	24,51	29,925	22,23	26,79	27,36	25,365	28,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,62	2,79	22,23	29,93
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	22,16	24,749	21,148	20,035	20,616	20,343	27,861	21,214	28,622	19,223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,60	3,33	19,22	28,62
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	7,6175	9,7846	8,751	9,7229	8,8906	10,839	10,614	8,6379	10,862	9,7431	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,55	1,07	7,62	10,86
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l’anus	4,3636	3,9091	4,1429	3,6757	3,5556	3,05	3,8182	3,7111	4,4865	3,1739	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,79	0,47	3,05	4,49

Annexe19 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population EAG2 d’El Amra.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus–vulve) (µm)	45,10	61,80	58,80	46,90	83,50	43,70	52,70	61,49	61,50	89,00	59,90	78,60	28,10	37,00	41,50	63,90	64,20	79,50	48,40	33,20	56,94	16,90	28,10	89,00
Longueur de la fenêtre (µm)	16,40	24,90	21,60	13,00	23,50	22,40	20,00	17,16	23,90	28,20	21,60	22,10	19,90	24,10	19,30	21,50	22,10	27,90	19,10	16,90	21,28	3,76	13,00	28,20
Le rapport Granek	2,75	2,48	2,72	3,61	3,55	1,95	2,64	3,58	2,57	3,16	2,77	3,56	1,41	1,54	2,15	2,97	2,90	2,85	2,53	1,96	2,68	0,65	1,41	3,61
Nombre de stries	14	15	15	11	16	12	12	18	11	18	14	16	8	11	10	15	14	15	15	9	13,45	2,82	8,00	18,00
Longueur du stylet (µm)	23,37	23,09	22,80	22,80	23,37	22,80	23,26	22,74	22,23	23,37	23,43	23,09	23,37	22,23	22,69	24,51	24,57	24,40	23,66	23,94	23,28	0,68	22,23	24,57
Longueur du Corps (µm)	439,67	451,09	468,22	439,67	456,8	485,35	502,48	442,53	456,8	433,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	457,66	22,03	433,96	502,48
Largeur maximale du corps (µm)	20,235	20,805	20,235	19,95	22,8	20,52	20,52	18,81	20,52	19,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,38	1,04	18,81	22,80
Largeur du corps à l’anus (µm)	12,54	12,54	13,11	12,54	12,54	11,97	12,54	12,54	12,825	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,45	0,47	11,40	13,11
Longueur de la queue	49,02	52,725	57	51,3	48,45	48,45	47,31	51,3	47,88	43,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,68	3,66	43,32	57,00
Longueur de la partie hyaline de la queue	32,49	34,2	37,05	31,35	28,785	26,79	31,35	29,64	30,78	23,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,58	3,80	23,37	37,05
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	21,728	21,682	23,139	22,039	20,035	23,653	24,487	23,526	22,261	22,392	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,49	1,26	20,04	24,49
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	8,9692	8,5555	8,2144	8,5706	9,4283	10,018	10,621	8,6262	9,5405	10,018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,26	0,79	8,21	10,62
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l’anus	3,9091	4,2045	4,3478	4,0909	3,8636	4,0476	3,7727	4,0909	3,7333	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,99	0,20	3,73	4,35

Annexe 20 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population EAG3 d'El Amra.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus-vulve) (µm)	68,9	67,9	53,2	64,4	61,6	66,4	69,0	117,4	52,2	62,9	34,3	54,3	50,1	69,4	68,6	57,2	59,3	71,5	44,3	45,8	61,94	16,48	34,32	117,40
Longueur de la fenêtre (µm)	24,3	17,8	21,8	19,3	17,9	21,2	24,9	30,6	30,0	20,0	20,0	32,9	27,9	17,9	25,7	21,5	22,9	25,7	28,6	24,3	23,76	4,52	17,80	32,89
Le rapport Granek	2,84	3,81	2,44	3,34	3,44	3,13	2,77	3,84	1,74	3,14	1,71	1,65	1,79	3,88	2,67	2,67	2,59	2,78	1,55	1,88	2,68	0,77	1,55	3,88
Nombre de stries	17	18	16	16	16	16	16	25	14	16	10	14	17	15	18	14	18	17	8	10	15,55	3,56	8,00	25,00
Longueur du stylet (µm)	23,37	23,37	23,94	24,225	23,085	24,51	23,085	24,51	23,37	24,51	24,51	24,225	23,37	22,8	24,225	24,51	24,396	24,225	23,94	24,225	23,92	0,58	22,80	24,51
Longueur du Corps (µm)	402,56	411,12	408,27	405,41	408,27	433,96	433,96	428,25	428,25	399,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	415,97	13,53	399,70	433,96
Largeur maximale du corps (µm)	19,38	21,66	20,52	20,52	20,52	18,81	20,52	21,09	20,52	18,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,21	0,99	18,53	21,66
Largeur du corps à l'anus (µm)	11,97	12,54	11,97	12,54	11,97	12,54	12,54	11,97	12,83	12,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,37	0,36	11,97	12,83
Longueur de la queue	59,85	36,48	51,30	52,16	51,30	50,16	54,15	46,17	51,30	49,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,19	5,98	36,48	59,85
Longueur de la partie hyaline de la queue	38,19	23,37	25,65	33,63	31,92	33,63	35,34	33,63	34,20	31,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,09	4,44	23,37	38,19
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	20,77	18,98	19,90	19,76	19,90	23,07	21,15	20,31	20,87	21,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,63	1,15	18,98	23,07
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	6,73	11,27	7,96	7,77	7,96	8,65	8,01	9,28	8,35	8,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,41	1,20	6,73	11,27
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	5,00	2,91	4,29	4,16	4,29	4,00	4,32	3,86	4,00	3,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,06	0,53	2,91	5,00

Annexe 21 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population EAG4 d'El Amra.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus-vulve) (µm)	80,1	57,2	71,5	87,2	44,3	85,8	47,2	55,8	50,1	54,3	61,5	41,5	64,4	50,1	37,2	47,2	51,5	72,9	71,5	52,9	59,20	14,63	37,18	87,23
Longueur de la fenêtre (µm)	27,2	31,5	30,0	31,5	24,3	34,3	24,3	20,0	19,3	22,9	18,6	24,3	17,2	21,5	24,3	21,5	20,0	25,7	20,0	35,8	24,70	5,41	17,16	35,75
Le rapport Granek	2,95	1,82	2,38	2,77	1,82	2,50	1,94	2,79	2,59	2,38	3,31	1,71	3,75	2,33	1,53	2,20	2,57	2,83	3,57	1,48	2,46	0,64	1,48	3,75
Nombre de stries	19	15	15	24	12	18	9	16	16	16	15	10	14	13	7	9	11	17	18	9	14,15	4,20	7,00	24,00
Longueur du stylet (µm)	24,225	24,51	23,94	24,681	23,655	23,085	23,37	22,914	22,971	23,37	24,795	25,65	23,655	25,08	24,51	22,8	23,37	22,8	23,085	23,37	23,79	0,84	22,80	25,65
Longueur du Corps (µm)	468,22	456,80	479,64	468,22	416,83	451,09	439,67	399,70	428,25	436,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	444,52	25,11	399,70	479,64
Largeur maximale du corps (µm)	20,52	18,81	19,38	19,67	20,24	21,66	20,52	19,10	19,95	20,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,04	0,84	18,81	21,66
Largeur du corps à l'anus (µm)	12,83	12,54	11,40	10,26	11,40	12,83	11,97	11,97	11,97	12,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,94	0,78	10,26	12,83
Longueur de la queue	57,00	42,18	47,88	41,61	38,19	51,30	52,16	46,74	55,29	53,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,56	6,32	38,19	57,00
Longueur de la partie hyaline de la queue	36,48	26,22	32,49	32,49	25,08	33,06	32,21	28,50	32,49	37,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,66	4,03	25,08	37,62
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	22,82	24,28	24,75	23,81	20,60	20,83	21,43	20,93	21,47	21,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,22	1,56	20,60	24,75
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	8,21	10,83	10,02	11,25	10,91	8,79	8,43	8,55	7,75	8,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,29	1,32	7,75	11,25
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	4,44	3,36	4,20	4,06	3,35	4,00	4,36	3,90	4,62	4,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,06	0,43	3,35	4,62

Annexe 22 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population RG1 de Rouina

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.	
Distance (anus-vulve) (µm)	57,1	99,4	112,7	65,2	112,7	82,8	97,9	66,2	90,9	67,6	63,4	64,7	70,6	71,8	55,8	110,1	58,6	74,4	72,9	75,8	78,53	18,81	55,77	112,70	
Longueur de la fenêtre (µm)	18,4	25,1	25,8	15,4	25,8	18,9	16,5	14,7	21,1	20,2	16,8	16,5	19,9	17,4	25,7	35,8	21,5	27,9	16,4	24,3	21,20	5,31	14,70	35,75	
Le rapport Granek	3,10	3,96	4,37	4,23	4,37	4,38	5,93	4,50	4,31	3,35	3,77	3,92	3,55	4,13	2,17	3,08	2,73	2,67	4,43	3,12	3,80	0,85	2,17	5,93	
Nombre de stries	16	22	22	19	20	19	25	17	18	16	19	19	20	17	16	22	16	16	17	17	18,65	2,56	16,00	25,00	
Longueur du stylet (µm)	23,37	23,09	23,66	23,66	22,86	23,09	24,80	22,80	23,37	23,09	23,37	22,80	22,52	21,38	20,52	20,52	22,80	21,09	20,81	21,09	22,53	1,20	20,52	24,80	
Longueur du Corps (µm)	359,73	439,67	428,25	422,54	411,12	428,25	405,41	399,70	436,82	433,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	416,54	24,09	359,73	439,67	
Largeur maximale du corps (µm)	17,67	18,24	19,95	19,95	18,81	21,66	18,81	20,52	21,09	20,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,72	1,29	17,67	21,66
Largeur du corps à l'anus (µm)	10,83	11,40	11,69	11,97	12,54	12,54	12,26	12,54	11,97	12,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,06	0,62	10,83	12,83
Longueur de la queue	35,91	37,05	41,61	39,33	40,47	53,01	46,74	49,02	52,44	48,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,40	6,30	35,91	53,01
Longueur de la partie hyaline de la queue	21,09	24,51	26,51	30,21	25,65	33,06	36,20	28,79	33,63	34,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,38	4,91	21,09	36,20
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	20,36	24,10	21,47	21,18	21,86	19,77	21,55	19,48	20,71	21,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,16	1,29	19,48	24,10
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	10,02	11,87	10,29	10,74	10,16	8,08	8,67	8,15	8,33	8,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,53	1,28	8,08	11,87
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,32	3,25	3,56	3,29	3,23	4,23	3,81	3,91	4,38	3,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,67	0,42	3,23	4,38

Annexe 23 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population RG2 de Rouina

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.	
Distance (anus-vulve) (µm)	106,4	92,7	53,3	89,6	71,4	57,9	72,0	65,1	48,1	65,3	116,8	55,0	70,2	90,1	111,5	77,2	57,2	59,3	88,7	61,5	75,47	20,36	48,10	116,80	
Longueur de la fenêtre (µm)	13,4	27,3	19,0	17,6	15,8	17,8	18,7	17,9	16,4	14,4	17,7	15,3	15,0	21,5	22,2	24,3	18,6	20,0	25,7	25,7	19,22	4,04	13,40	27,30	
Le rapport Granek	7,94	3,40	2,81	5,09	4,52	3,25	3,85	3,64	2,93	4,53	6,60	3,59	4,68	4,20	5,03	3,18	3,08	2,96	3,44	2,39	4,06	1,35	2,39	7,94	
Nombre de stries	26	18	17	22	21	17	20	16	16	21	26	16	20	25	22	16	16	17	18	16	19,30	3,47	16,00	26,00	
Longueur du stylet (µm)	22,8	22,8	21,945	21,09	21,09	21,945	21,09	21,546	22,515	21,09	21,375	19,95	21,09	21,09	22,23	21,375	21,09	21,66	21,375	21,66	21,54	0,69	19,95	22,80	
Longueur du Corps (µm)	371,15	393,99	422,54	428,25	382,57	502,48	439,67	473,93	399,7	411,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	422,54	40,91	371,15	502,48	
Largeur maximale du corps (µm)	19,95	19,38	18,81	21,66	16,245	19,95	20,52	18,24	19,95	19,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,41	1,45	16,25	21,66
Largeur du corps à l'anus (µm)	10,545	12,54	11,4	11,97	11,97	12,54	11,97	12,54	12,54	12,255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,03	0,64	10,55	12,54
Longueur de la queue	39,9	48,735	37,05	47,31	46,74	48,45	43,32	54,72	45,6	46,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,80	4,90	37,05	54,72
Longueur de la partie hyaline de la queue	22,8	31,92	25,08	30,495	26,79	26,79	27,93	28,785	25,08	25,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,08	2,77	22,80	31,92
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	18,604	20,33	22,464	19,771	23,55	25,187	21,426	25,983	20,035	21,214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,86	2,42	18,60	25,98
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	9,302	8,0843	11,405	9,052	8,1851	10,371	10,149	8,661	8,7654	8,9045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,29	1,05	8,08	11,40
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,7838	3,8864	3,25	3,9524	3,9048	3,8636	3,619	4,3636	3,6364	3,7674	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,80	0,28	3,25	4,36

Annexe 24 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population RG3 de Rouina

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus–vulve) (µm)	74,7	55,7	101,9	75,8	67,1	58,8	94,0	109,0	70,6	110,6	53,1	78,7	95,8	100,1	47,2	61,5	55,8	72,9	85,8	95,8	78,24	19,80	47,19	110,60
Longueur de la fenêtre (µm)	27,6	16,7	15,1	25,2	15,6	14,1	22,8	21,2	17,7	16,4	15,7	18,6	35,8	17,2	17,2	24,3	18,6	22,9	21,5	28,6	20,63	5,54	14,10	35,75
Le rapport Granek	2,71	3,34	6,75	3,01	4,30	4,17	4,12	5,14	3,99	6,74	3,38	4,23	2,68	5,83	2,75	2,53	3,00	3,19	4,00	3,35	3,96	1,28	2,53	6,75
Nombre de stries	17	16	29	18	20	19	28	24	17	25	16	19	24	25	16	17	16	21	22	19	20,40	4,15	16,00	29,00
Longueur du stylet (µm)	20,81	21,09	20,52	19,95	19,95	20,52	21,66	21,09	21,55	22,52	20,98	19,95	21,09	19,95	19,95	21,66	21,09	21,09	21,38	20,98	20,9	0,70	19,95	22,52
Longueur du Corps (µm)	428,25	442,53	388,28	416,83	502,48	399,7	402,56	445,38	411,12	411,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	424,82	32,80	388,28	502,48
Largeur maximale du corps (µm)	19,38	19,665	19,95	20,52	18,24	18,24	19,38	18,24	17,1	18,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,95	1,02	17,10	20,52
Largeur du corps à l'anus (µm)	11,047	11,209	11,372	11,696	10,397	10,397	11,047	10,397	9,747	10,722	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,80	0,58	9,75	11,70
Longueur de la queue	35,34	38,19	42,75	44,46	39,9	38,19	45,03	41,04	42,18	47,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41,50	3,75	35,34	47,88
Longueur de la partie hyaline de la queue	23,94	25,65	22,515	22,23	25,65	27,36	25,65	26,79	23,37	24,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,77	1,74	22,23	27,36
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	22,10	22,50	19,46	20,31	27,55	21,91	20,77	24,42	24,04	21,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,49	2,34	19,46	27,55
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	12,12	11,59	9,08	9,38	12,59	10,47	8,94	10,85	9,75	8,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,33	1,41	8,59	12,59
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,20	3,41	3,76	3,80	3,84	3,67	4,08	3,95	4,33	4,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,85	0,38	3,20	4,47

Annexe 25: Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population RG4 de Rouina

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus–vulve) (µm)	47,2	62,9	96,4	77,4	116,3	62,2	77,3	87,4	118,2	72,9	61,5	61,5	56,485	64,4	55,8	84,4	74,4	107,3	88,7	82,9	77,77	20,13	47,20	118,20
Longueur de la fenêtre (µm)	15,5	15,8	26,0	18,4	21,6	14,5	18,7	24,4	22,3	22,9	22,9	17,9	20,02	27,2	37,2	30,0	20,0	24,3	21,5	23,6	22,23	5,32	14,50	37,18
Le rapport Granek	3,05	3,98	3,71	4,21	5,38	4,29	4,13	3,58	5,30	3,19	2,69	3,44	2,8214	2,37	1,50	2,81	3,71	4,41	4,13	3,52	3,61	0,94	1,50	5,38
Nombre de stries	14	17	23	17	29	16	19	18	27	14	16	15	16	14	10	18	17	23	17	22	18,10	4,62	10,00	29,00
Longueur du stylet (µm)	22,23	22,23	21,66	21,888	21,717	23,66	23,66	22,23	23,37	23,37	21,945	20,805	21,774	21,375	21,66	20,235	22,23	21,09	21,09	21,375	21,98	0,94	20,24	23,66
Longueur du Corps (µm)	405,41	393,99	405,41	433,96	408,27	411,12	519,61	496,77	425,4	436,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	433,67	41,86	393,99	519,61
Largeur maximale du corps (µm)	19,95	19,95	19,095	18,81	20,52	19,95	20,235	18,81	18,525	20,805	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,67	0,79	18,53	20,81
Largeur du corps à l'anus (µm)	12,255	10,83	11,685	12,54	12,54	12,825	11,97	11,97	12,825	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,08	0,65	10,83	12,83
Longueur de la queue	45,03	44,46	42,75	48,45	48,45	45,03	49,02	48,45	50,73	44,745	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46,71	2,60	42,75	50,73
Longueur de la partie hyaline de la queue	29,925	24,51	22,8	26,505	22,23	21,375	32,49	32,205	28,5	30,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,08	4,17	21,38	32,49
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	20,32	19,75	21,23	23,07	19,90	20,61	25,68	26,41	22,96	21,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,09	2,38	19,75	26,41
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	9,00	8,86	9,48	8,96	8,43	9,13	10,60	10,25	8,39	9,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,29	0,74	8,39	10,60
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,67	4,11	3,66	3,86	3,86	3,51	4,10	4,05	3,96	3,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,87	0,20	3,51	4,11
Stylet length	22,52	23,48	24,23	24,23	24,23	23,66	22,52	23,37	23,09	22,80	23,09	23,94	23,94	24,23	23,66	22,80	22,80	23,37	23,37	23,66	23,45	0,58	22,52	24,23

Annexe 26 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population MEG de Mekhatria

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus–vulve) (µm)	114,5	78,8	86,5	70,9	60,0	111,8	46,7	55,2	82,3	94,6	49,3	79,4	48,6	48,6	64,4	52,9	51,5	96,5	96,5	32,175	71,06	23,63	32,18	114,50
Longueur de la fenêtre (µm)	35,0	14,4	26,1	23,7	15,2	33,9	15,9	24,9	19,7	28,0	22,9	29,3	21,5	23,6	21,5	22,9	17,2	28,6	23,6	16,45	23,21	5,85	14,40	35,00
Le rapport Granek	3,27	5,47	3,31	2,99	3,95	3,30	2,94	2,22	4,18	3,38	2,16	2,71	2,27	2,06	3,00	2,31	3,00	3,38	4,09	1,96	3,10	0,87	1,96	5,47
Nombre de stries	23	18	16	16	15	17	10	13	18	19	13	17	14	11	16	11	14	25	23	8	15,9	4,44	8,00	25,00
Longueur du stylet (µm)	22,52	23,48	24,23	24,23	24,23	23,66	22,52	23,37	23,09	22,80	23,09	23,94	23,94	24,23	23,66	22,80	22,80	23,37	23,37	23,66	23,45	0,58	22,52	24,23
Longueur du Corps (µm)	502,48	496,77	525,32	485,35	399,7	402,56	491,06	405,41	445,38	468,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	462,2	46,16	399,70	525,32
Largeur maximale du corps (µm)	17,67	20,52	21,66	20,235	18,24	18,81	19,95	19,95	21,09	21,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,9	1,31	17,67	21,66
Largeur du corps à l'anus (µm)	10,26	13,11	13,11	13,40	11,97	11,40	13,11	12,54	12,54	12,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,4	0,97	10,26	13,40
Longueur de la queue	48,45	51,87	51,87	55,29	54,15	46,17	49,305	48,45	46,17	57,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,9	3,88	46,17	57,57
Longueur de la partie hyaline de la queue	32,205	30,21	34,2	30,21	36,48	28,5	33,63	28,5	28,5	34,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,7	2,88	28,50	36,48
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	28,44	24,21	24,25	23,99	21,91	21,40	24,61	20,32	21,12	22,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,2	2,37	20,32	28,44
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	10,37	9,58	10,13	8,78	7,38	8,72	9,96	8,37	9,65	8,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	0,98	7,38	10,37
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	4,72	3,96	3,96	4,13	4,52	4,05	3,76	3,86	3,68	4,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,1	0,35	3,68	4,72

Annexe 27 : Morphométrie de la région périnéale des kystes et des juvéniles de la population ARG d'Arib

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	ET	Min.	Max.
Distance (anus–vulve) (µm)	53,8	67,9	52,2	58,6	65,4	81,1	55,4	40,8	40,0	85,8	76,5	24,3	128,7	52,9	52,9	44,3	30,0	58,6	38,61	55,055	58,15	22,96	24,31	128,70
Longueur de la fenêtre (µm)	16,5	21,2	16,4	17,9	21,3	16,9	15,8	20,7	17,2	35,8	27,2	19,3	21,5	18,6	35,8	17,2	22,9	35,8	28,6	24,31	22,09	6,69	15,80	35,75
Le rapport Granek	3,26	3,20	3,18	3,27	3,07	4,80	3,51	1,97	2,33	2,40	2,82	1,26	6,00	2,85	1,48	2,58	1,31	1,64	1,35	2,26	2,83	1,18	1,26	6,00
Nombre de stries	16	15	11	17	16	21	17	9	12	21	15	9	27	13	11	11	7	15	10	13	14,61	4,82	7,00	27,00
Longueur du stylet (µm)	24,624	23,37	23,94	22,8	23,085	24,51	23,598	24,51	22,8	24,51	26,505	25,65	24,225	24,225	24,225	21,945	22,8	21,09	21,66	21,66	23,59	1,38	21,09	26,51
Longueur du Corps (µm)	393,99	439,67	428,25	502,48	456,8	405,41	411,12	479,64	428,25	411,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	435,67	34,69	393,99	502,48
Largeur maximale du corps (µm)	19,95	19,095	19,095	18,24	19,38	19,95	20,52	18,81	21,66	18,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,55	1,00	18,24	21,66
Largeur du corps à l'anus (µm)	12,255	12,54	12,54	11,4	12,825	12,54	12,54	12,54	12,54	12,255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,40	0,39	11,40	12,83
Longueur de la queue	40,47	46,17	45,03	35,91	49,59	35,34	49,02	46,74	43,32	46,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,83	5,06	35,34	49,59
Longueur de la partie hyaline de la queue	25,365	21,66	27,93	24,51	24,51	22,23	26,22	22,8	26,22	28,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,99	2,31	21,66	28,50
a =Longueur du corps/ Largeur du corps	19,75	23,03	22,43	27,55	23,57	20,32	20,04	25,50	19,77	21,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,38	2,62	19,75	27,55
c =Longueur du corps/Longueur de la queue	9,74	9,52	9,51	13,99	9,21	11,47	8,39	10,26	9,89	8,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,08	1,61	8,39	13,99
c'=Longueur de la queue/Largeur du corps à l'anus	3,30	3,68	3,59	3,15	3,87	2,82	3,91	3,73	3,45	3,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,53	0,35	2,82	3,91

Annexe 28 : Préparation d'un gel d'agarose 1%

- **Produits**

- Agarose.....1g
- TBE100 ml
- Bromure d'éthidium.....5 μ l

- **Préparation**

- Préparer la cuve d'électrophorèse
- Mettre 1g d'agarose dans 100ml de TBE (Tris Baic Acide) et mélanger jusqu'à l'obtention d'une solution limpide (mettre dans un four à microonde pendant trois reprises).
- Laisser refroidir, ajouter Bromure d'Ethidium
- Couler le gel obtenu sur la cuve d'électrophorèse.

THE VERTICAL DISTRIBUTION OF POTATO CYST NEMATODES IN AIN DEFLA (ALGERIA)

NADIA TIRCHI¹, AISSA MOKABLI² & FAZIA MOUHOUCHE³

^{1,2}Faculty of Natural Sciences and Life, University Djilali Bounaama Khemis Miliana, Ain Defla, Algeria

³Department of Zoology and Agricultural Forestière, National School of Agronomy, El Harrach, Algeria

ABSTRACT

Among cyst nematodes species; *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* are the most important pests for potato crop in the world. This devastating group took a large extension in the zones to potato vocation of Algeria. The vertical distribution of those parasitic-nematodes in soil is affected by environment factors. Investigating was conducted in three localities of Ain Defla region (Algeria) on the vertical distribution of those parasites during two development stages of potato plant. The results showed that in sprout stage, number of collected cysts in the different sites were significantly different. However; no significant differences were noted between studied soil depths of the same site. During the maturation stage, the number of collected cysts was significantly different in the prospected sites. In the same way, cyst number showed variability within the soil depth. This study shows that there is not direct relation between the pH and total limestone rate (%CaCo₃) of soil with the vertical distribution of the cysts of PCNs.

KEYWORDS: Potato Cyst Nematodes, Vertical Distribution, Site, Development Stage

INTRODUCTION

The Potato cyst nematodes (PCNs), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) and *Globodera pallida* (Stone, 1973), cause quantitative and qualitative losses in potato crops in several countries (PHILIS, 1991; GRECO *et al*, 1993; MARKS and BRODIE, 1998; VAN RIEL and MULDER, 1998, OEPP, 2004). These roots parasites persist in soil during several years in the state of encysted females. They are very dangerous seen the insidious beginning of their attacks, their highly elevated multiplication, the scattering and the longevity of the cysts in soil, their easy dissemination and the difficulty of their detection which makes difficult the intervention methods (SCHNEIDER and MEGGNIERY, 1971). They are considered like organisms of quarantine in several countries in the world (BÉLAIR, 2005, BÉLAIR, 2008; CHAUVIN *et al*, 2008, HODDA and COOK, 2009).

The distribution of the nematodes in soil is heterogeneous and influenced by several factors, mainly plant host (development stage, importance and shape of the roots and nature of their exudates), cultural practices (irrigation, tillage) and by other factors bound to the type of soil (texture, content in organic matter, pH, limestone rate) (ROUSSELLE *et al*, 1996; BEEN and SCHOMAKER, 2000).

The survey of the vertical distribution in soil of those two species of PCNs within the soil profile is most important to develop control strategies. The aim of this investigation was to obtain some informations on the vertical distribution of the cysts of PCNs *Globodera* sp. within the soil rhizosphere of potato plants in relation with two pH and rate of limestone.

MATERIALS AND METHODS

Study Sites

The vertical distribution of potato cyst nematode was conducted in field situated in three localities, Bourached, El Amra and Mekhatria located in Ain Defla region of Algeria which is situated to 140 Km of the Algiers capital (36° 15' 55'' N, 1° 58' 13'' E). This area is characterized by a semi-arid Mediterranean climate and 500 to 600 mm annual rainfall.

Sampling

Soil samples were collected from three plots (500 m² each) during two development stages of the potato culture. The first has been achieved in March 2013 during sprout stage and the second in May, corresponding to the maturation phase.

In each parcel 20 elementary samples of 100g were collected from the rhizosphere soil of potato plants from the depth of 0-15, 15-30 and 30-40 cm. Then, all elementary samples of each depth were mixed in a representative composite sample weighing 2kg. From each composite sample, five sub-samples weighing 300 g were appropriated to constitute repetitions for the nematological analysis. Cysts were extracted from each sub soil samples by using method described by FENUICK (1940). In the same way, of every composite soil sample considered, five sub-samples are kept to determine soil pH using pH meter and total limestone rate (%CaCo₃) with Bernard calcimeter according to the method described (DUCHAUFOR, 1977), in order to evaluate their impact on the vertical distribution of PCNs populations.

Statistical Analysis Methods

Statistical analysis was performed using the STATISTICA program (version 6.1). All data were analyzed by ANOVA. Also, to determine the relationships between soil pH and o total limestone rate with vertical distribution of cysts of PCNs, principal component analysis was conducted.

RESULTS

The number of mature cysts is different between the three surveyed sites in the two development stage of potato (Table1).

Table 1: The Cyst Number with Soil Profile in Prospected Sites

Stations	Number of Cyst in Sprout Stage			Number of Cyst in Maturation Stage		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
El Amra	41,2±13,48	34,8±7,49	46±13,87	35,8±4,66	21,4±10,29	20,8±4,32
Bourached	3,6±3,7	8,2±3,56	6,2±2,17	7,6±1,82	11,4±2,30	8±1,58
Mekhatria	24,4±6,35	29,4±14,79	17,8±2,86	19,2±6,94	9,4±1,52	22,4±4,77

Cysts Distribution in Sprout Stage

During the sprout stage, in the three studied sites, the number of collected cysts was not significantly different between the three depths ($p=0.88$), However, the number of cyst collected in the different sites is very significantly different ($P<0.0005$). No significant differences were noted for the interaction of factors site and depth (Figure 1; Table 2)

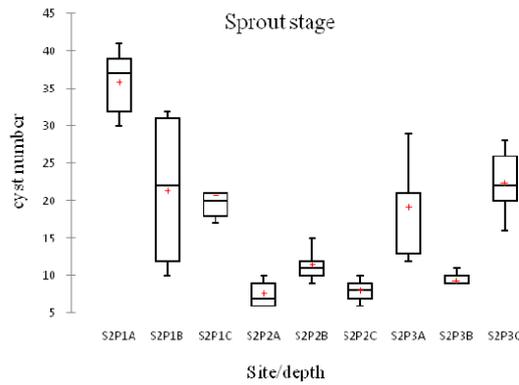


Figure 1: Variability of Number of Cysts between the Three Depths in Studied Sites during Sprout Stage

S1: stage 1 (Sprout stage), **P1:** site 1 (El Amra), **P2:** site 2 (Bourached), **P3:** site 3 (Mekhatria)

A: depth of 0-15 cm, **B:** depth of 15-30 cm, **C:** depth of 30-45 cm.

Table 2: Analysis of Variance of the Number of Cysts According to the Studied Sites and the Depth in the Sprout Stage

	Effect	SC	DDL	F	P
ord. origine	23679,19	1	23679,19	286,2687	0,000000
site	8870,67	2	4435,33	53,6208	0,000000
depth	21,08	2	10,54	0,1274	0,880695
site*depth	840,68	4	210,17	2,5408	0,054151
Erreur	3391,38	41	82,72		

Cysts Distribution in Maturation Stage

During maturation, a variability of the vertical distribution of cysts was noted in prospected areas. In the first site, number of cyst collected in superficial soil layer (0-15cm) was the higher in comparison than those found in 15-30 and 30-45 cm soil depth. In the second site, the higher number of cyst was found in 15-30 cm soil depth in comparison to 0-15 cm and 30-45 cm soil depth. Different distribution is found in the third site where the highest amount of cysts of those nematodes was located in the higher soil depth 30-45cm, the difference was very significant in comparison with the numbers of cysts collected in the soil depth of 0-15 cm and 15- 30 cm. The results of ANOVA (Fi.g.2; Table3) revealed very highly significant differences for factor site and

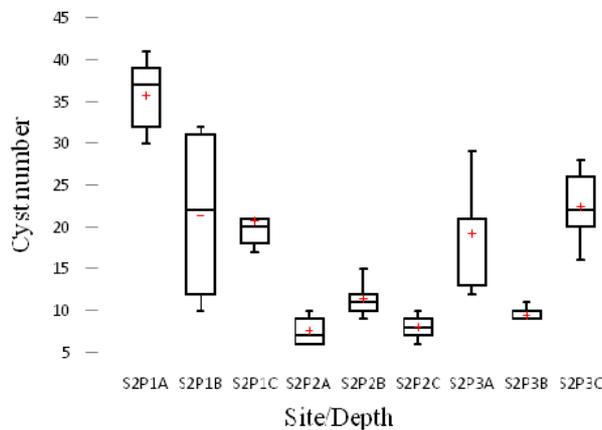


Figure 2: Variability of Cyst Number between the Three Depths in the Three Parcels During Maturation Stage

S2: stage 2 (maturation), **P1:** site 1 (El Amra), **P2:** site 2 (Bourached), **P3:** site 3 (Mekhatria)

A: depth of 0-15 cm, **B:** depth of 15-30 cm, **C:** depth of 30-45 cm.

Table 3: Analysis of Variance of the Number of Cysts According to the Studied Sites and the Depth in the Maturation Stage

	Effect	SC	DDL	F	P
ord. origine	13520,00	1	13520,00	527,6670	0,000000
site	2170,00	2	1085,00	42,3461	0,000000
depth	348,40	2	174,20	6,7988	0,003127
site*depth	875,20	4	218,80	8,5395	0,000059
Erreur	922,40	36	25,62		

Effect of pH and Total Limestone Rate % CaCo₃ on Vertical Distribution of Cysts of Potato Cyst Nematodes

The analysis of the relative results to the soil pH in the different depths during the two development stages of the potato culture revealed significant differences between the values unregistered in sprout stage and those obtained in maturation stage ($p < 0.0005$). In the same way, very highly significant differences were recorded for pH values in the studied investigated sites. However, no significant differences were recorded of pH values of the different soil depths of the same site ($p = 0.23$) (Table 4; Figure 3, 4, 5).

Table 4: Ph Values within Soil Profile in Studied Sites

Station	Ph Values During Sprout Stage			Ph Values During Maturation Stage		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
El Amra	6,83±0.18	6,9±0.31	6,59±0.19	8,3±0.03	8,4±0.03	8,35±0.02
Bourached	6,69±0.05	6,11±0.84	6,62±0.11	8,26±0.01	8,26±0.02	8,22±0.02
Mekhatria	6,59±0.24	6,99±0.44	6,61±0.4	8,44±0.04	8,38±0.02	8,37±0.06



Figure 3: Variation of pH between Sprout Stage (S1) and Maturation Stage (S2)

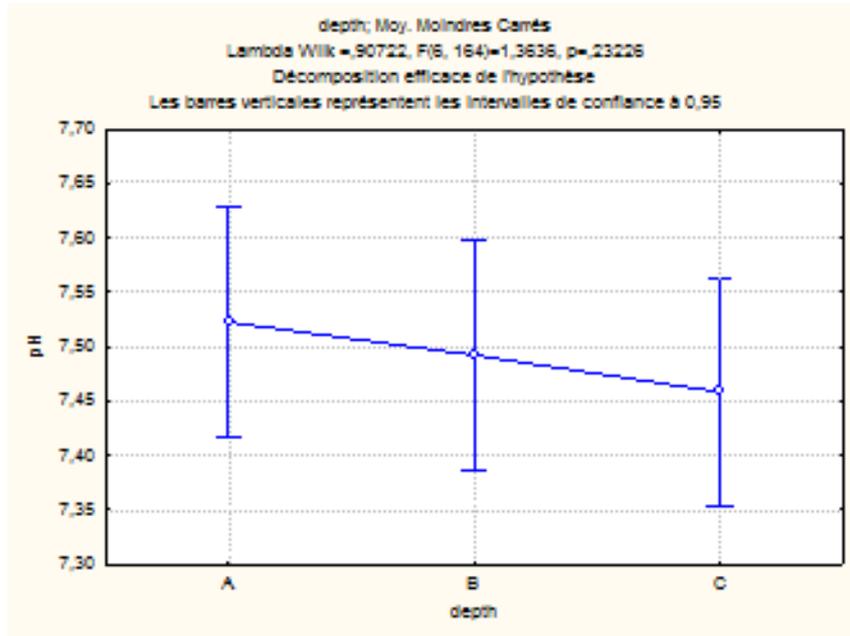


Figure 4: Variation of pH within Soil Depths

A: depth of 0-15 cm, B: depth of 15-30 cm, C: depth of 30-45 cm

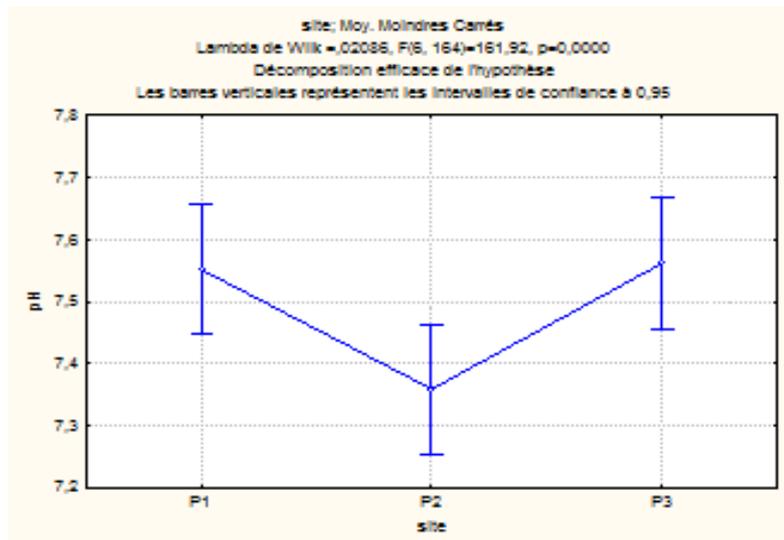


Figure 5: Variation of pH in the studied Sites

P1: site 1 (El Amra), P2: site 2 (Bourached), P3: site 3 (Mekhatria)

Concerning total limestone rate % CaCo₃, very highly significant differences were noted between sprout stage and maturation stage (p<0.0005). The differences were also, very highly significant for variable site (p<0.0005). In the same way, significant differences for %CaCo₃ values were noted between the different soil depths (p=0,017) (Table 5; Figure 6, 7, 8).

Table 5: Total Limestone Rate (%CaCo3) with Soil Profile in Studied Sites

Station	(%CaCo3) Values during Sprout Stage			(%CaCo3) Values during Maturation Stage		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
El Amra	9.99±0.4	9.8±0.4	9.52±0.21	8.4±0.22	8.4±0.19	9.86±0.13
Bourached	9.32±0.4	9.33±0.52	9.71±0.26	7.15±0.42	7.15±0.74	7.11±0.34
Mekhatria	4.05±0.26	3.77±0.74	5.09±0.39	3.47±0.32	3.9±0.18	3.94±0.32

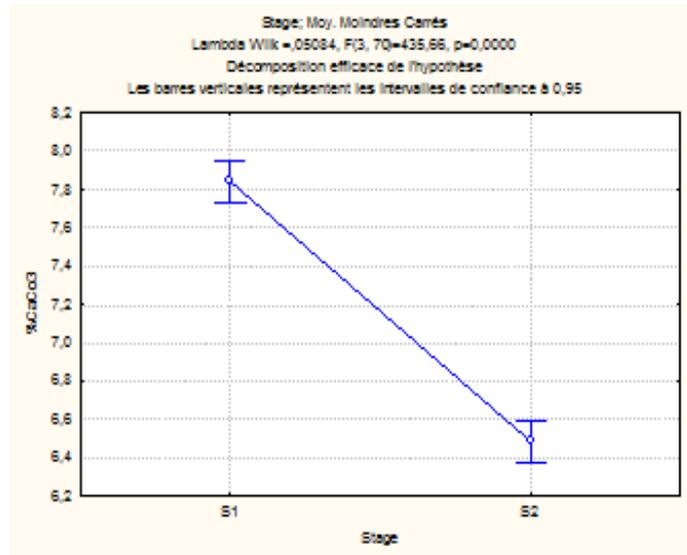


Figure 6: Variation of %Caco3 between Sprout Stage (S1) and Maturation Stage (S2)

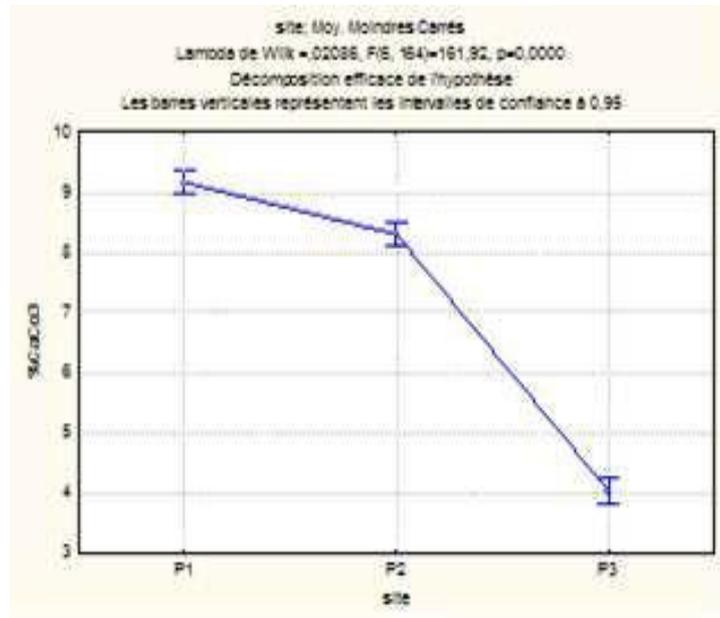


Figure 7: Variation of Ph in the Studied Sites

P1: site 1 (El Amra), **P2:** site 2 (Bourached), **P3:** site 3 (Mekhatria)

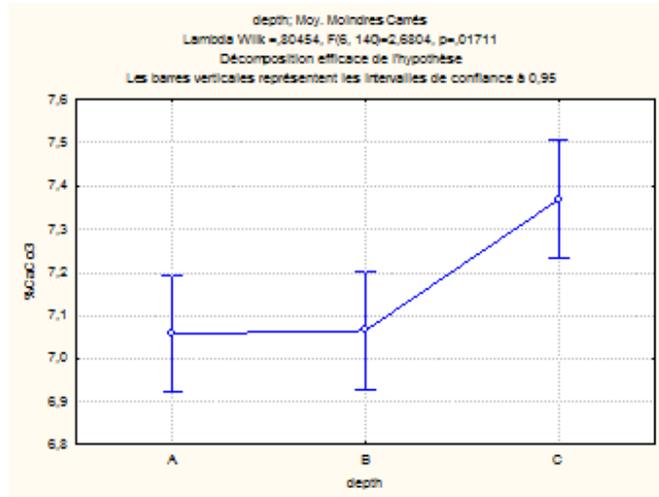


Figure 8: Variation of %CaCo3 within Soil Depths

A: depth of 0-15 cm, **B:** depth of 15-30 cm, **C:** depth of 30-45 cm

Principal Component Analysis (PCA)

The analysis of variables distribution in the correlation circle (Figure 9), show that the vertical distribution of potato cyst nematodes is independent of total limestone rate and pH of soil. However, the number of these parasites is related to the survey site and the host plant stage

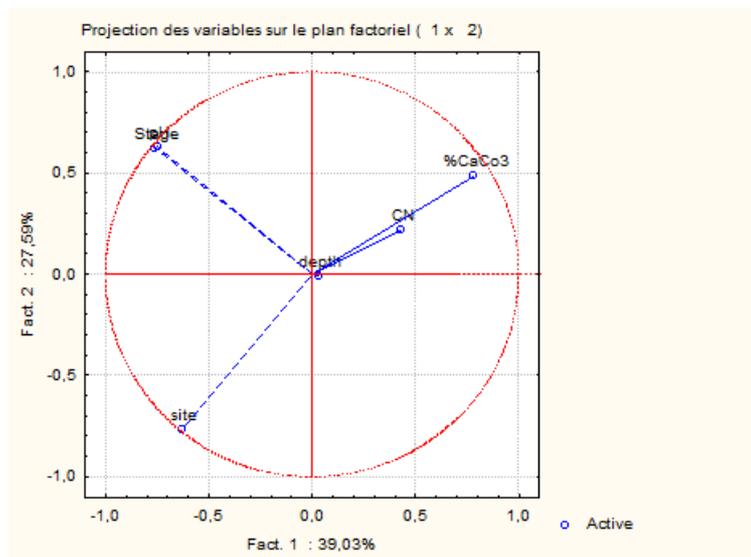


Figure 9: Principal Component Analysis between the Vertical of Distribution of Potato Cyst Nematode and Variables Considered

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

The data analysis revealed a variability of the vertical distribution of potato cyst nematodes within the same site between the two development stages of potato plant. In sprout stage, there was homogeneous distribution of cysts within soil depths in all studied sites. This could be due to the deep tillage preceding the sowing which can mix the soil of the different depths. HOU *et al.* (2010) reported that nematodes showed variable responses to different tillage practices. BEEN

and SCHOMAKER (2000) reported that the spatial distribution of cysts within the soil profile is partially affected by agricultural practices, mainly by tillage.

During the maturation stage, differences in the vertical distribution were noted between the studied sites. In the first parcel of El Amra the number of cysts decreases with soil depth. However, we collected a highest number of cysts in 15-30 cm in the second site (Bourached) and in 30-40 cm soil depth in the third sites (Mekhatria) in comparison with superficial depth. This could be due to the transport of mature cysts from upper to deeper soil layers (RENČO *et al*, 2011). This could be partially related to the plant roots growth. The factors that influence nematode distribution most are the host roots presence, rooting patterns and root exudates (SCHNEIDER et MUGNIERY, 1971; VALDEZ, 1974; ROUSSELLE *et al*, 1996). The potato cyst nematodes (PCNs) *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*, were found in high numbers in soil depth of 20-40 cm as in soil depth 0-20 cm (WHITEHEAD, 1977).

The study of nematode vertical distribution in the soil profile is difficult due to many interrelated factors including moisture, temperature and soil texture. However, the factors that influence significantly nematode distribution are the host roots presence, rooting patterns and root (VALDEZ, 1974; WHITEHEAD and TURNER, 1998). Further survey of different soil profile layers in potato fields should be conducted to complete the information on the vertical distribution of PCNs. All the factors which can affect their distribution must be taking in consideration.

The occupation and strategic extension of nematodes species *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* occur in relationship with the potato cultivation. Management of rotation is set up to reduce the extension those pests in futur years.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Mr. G. CHAKALI Professor at the National Superior School of Agronomy of El Harach, Algiers (Algeria) for his help for the writing of this paper.

REFERENCES

1. **BEEN, T. H, & SCHOMAKER, C. H, 2000.** Development and evaluation of sampling methods for fields with infestation foci of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*). *Phytopathology*, 90:647–656.
2. **BELAIR G, 2005.** Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes... par la racine. *Phytoprotection*, 86 : 65-69.
3. **BELAIR G, 2008.** « Histoire de la nématologie au Québec : ce n'est qu'un début! ». *Phytoprotection*, vol. 89, n° 2-3, 99-101.
4. **CAUBEL G, PERSON, F. & RIVOAL, R, 1980.** Les nématodes dans les rotations céréalières. *Persp. Agric*, 36 : 32-48.
5. **CHAUVIN L, CAROMEL B, KERLAN M. C, RULLIAT E, FOURNET, S, CHAUVIN J. E, GRENIER E, ELLISSECHE D. & MUGNIERY D, 2008.** *La lutte contre les nématodes à kyste de la pomme de terre Globodera rostochiensis et Globodera pallida. Cahiers Agriculture, volume 17, numéro 4,368-374, Juillet- Août, 2008, Synthèse.*
6. **DUCHAUFOR PH, 1977.** *Pédogenèse et classification pédologique.* 2^{ème} Edition, Masson, Paris, 325 p.

7. **FENWICK D. W, 1940.** Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera Schachtii* from soil. *J. Helminthology*, 18, 155-172.
8. **GRECO N, D'ADDABBO T, BRANDONISIO A. & ELIA F, 1993.** Damage to Italian Crops Caused by Cyst-forming Nematodes. *Journal of Nematology* 25(4S):836-842.
9. **HODDA M. & COOK D. C, 2009.** Economic Impact from Unrestricted Spread of Potato Cyst Nematodes in Australia. The American Phytopathological Society, Vol. 99, No. 12: 1387-1393
10. **JATALA P, 1972.** Nématode à kyste de la pomme de terre, PP: 57-64 in : la pomme de terre bulletins d'information technique 1à 19. Ed. *Centre internationale de la pomme de terre, Bruxelles*, P136.
11. **MARKS R. J, & BRODIE B. B, 1998.** Potato cyst nematodes: an international pest complex. Pp. 1-4. In Marks, R. J. & Brodie (Eds). *Potato cyst nematodes: Biology, distribution and control*. Wallingford, UK, CABI Publishing
12. **OEPP/EPPO, 2004.** Diagnostic protocols for regulated pests: *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *EPPO bulletin*, 34, 309-314
13. **PHILIS J, 1991.** Assesment of potato yield loss caused by the potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*. *Nematol. Medit*, 19,191-194.
14. **RENČO M, CERMAK V. & GAAR V, 2011.** Vertical Distribution of Hop Cyst Nematode in Hop Gardens in Central Europe. *Journal of Nematology*, 43, 220–222
15. **ROUSSELLE P, ROBERT Y. & CROSNIER J.C, 1996.** *La pomme de terre*. Ed. INRA et ITCF, Paris, 607p.
16. **SCHNEIDER J. & MEGNIERY M. 1971.** Les nématodes parasites de la pomme de terre. Pp 327-348 in : *Les nématodes des cultures. Journées d'Etude et d'Information ACTA-APNGPC, Paris, 3.4.5 Novembre 1971*. 828p.
17. **VALDEZ R. B, MCNAMARA D. G, ORMEROD P. J, PITCHER R. S. & TRESH, J. M, 1974.** Transmission of the hop strain of arabis mosaic virus by *Xiphinema diversicaudatum*. *Annals of Applied Biology* 76:113–122.
18. **VAN RIEL H.R. & MULDER A, 1998.** Potato cyst nematodes (*Globodera* species) in Western Europe. Pp. 271-298. In Marks, R. J. & Brodie (Eds). *Potato cyst nematodes: Biology, distribution and control*. Wallingford, UK, CABI Publishing.
19. **WHITEHEAD A. G, 1977.** Vertical Distribution of Potato, Beet and Pea Cyst Nematodes in some Heavily Infested Soils. *Plant Pathology*, 26:85–90.

Etude de la bioécologie des nématodes à kystes du genre *Globodera* inféodés à la culture de pomme de terre dans la plaine du Haut-Chélif

Résumé

L'étude de la distribution géographique des nématodes à kystes de la pomme dans la plaine du haut-Chellif (Ain Defla) a révélé que ces parasites sont cantonnés dans les localités de Rouina, El Amra, Ain Defla, Mekhatria, Arib et El Attaf. Le degré d'infestation par ces parasites varie d'une localité à une autre et d'un champ à un autre. La variation de l'infestation est le résultat de plusieurs facteurs liés au système de culture aux conditions environnementales.

Une étude a été menée dans trois localités de la région d'Ain Defla sur la distribution verticale de ces parasites pendant deux stades de développement de la plante de la pomme de terre. Les résultats ont montré que durant le stade levée, le nombre de kystes collectés dans les différents sites sont significativement différents. Cependant; aucune différence significative n'a été notée entre les profondeurs du sol du même site. Pendant le stade maturation, le nombre de kystes collectés était significativement différent dans les sites prospectés. De même, le nombre du kyste a montré une variabilité dans la profondeur du sol. Cette étude a montré qu'il n'y a pas une relation directe entre le pH et le taux du calcaire total (% CaCo₃) de sol avec la distribution verticale des kystes de *Globodera* spp.

L'enquête menée auprès du service de protection de végétaux (SRPV de Chlef) a révélé l'existence d'une collaboration entre cet organisme et la Direction des Services Agricoles(DSA) d'Ain Defla pour contrôler ces nématodes particulièrement dans les parcelles destinées à la multiplication de semences mais les analyses nématologiques réalisées au niveau de la SRPV de Chlef sont insuffisantes pour établir un programme de lutte approprié. L'enquête menée auprès des agriculteurs a montré un manque de performance des services de vulgarisation et de conseil agricoles concernant ces parasites. Le mode de conduite de la culture pomme de terre dans la majorité des exploitations enquêtées est très favorable au développement de ces parasites.

Grâce à la combinaison des techniques morphologiques et moléculaires, nous avons pu identifier pour la première fois, les espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla (Algérie). Les deux espèces *G. rostochiensis* et *G. pallida* sont présentes dans cette région soit séparément ou en populations mixtes. Nous avons montré l'existence d'une variabilité génétique intraspécifique au sein des populations de *G. pallida* et *G. rostochiensis* et nous avons aboutit à l'hypothèse de l'existence d'une troisième espèce du genre *Globodera* inféodée à la pomme terre dans la région de Mekhatria. Concernant l'origine des populations présentes à Ain Defla, l'étude phylogénétique a supporté l'hypothèse d'une multi-introduction de *G. pallida* et qu'un pays d'Europe ou Canada fût le "hôte de la transition" pour *G. rostochiensis*.

Mots clés : *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*, pomme de terre, bio écologie, Enquête, identification morphologique, caractérisation moléculaire.

Study of the bioecology of cyst nematodes of *Globodera* genus subservient to potato cultivation of in the plain of Upper-Cheliff

Abstract

The survey of the geographical distribution of potato cyst nematodes in the plain of the High-Cheliff (Ain Defla) revealed that these parasites are confined in some localities: Rouina El Amra, Ain Defla, Mekhatria, Arib and Attaf. The degree of infestation by these parasites varies by localities and fields. The variation of the infestation is the result of several factors related to culture system and environmental conditions.

Investigation was conducted in three localities of Ain Defla region on the vertical distribution of those parasites during two development stages of potato plant. The results showed that in sprout stage, number of collected cysts in the different sites were significantly different. However; no significant differences were noted between studied soil depths of the same site. During the maturation stage, the number of collected cysts was significantly different in the prospected sites. In the same way, cyst number showed variability within the soil depth. This study shows that there is not direct relation between the pH and total limestone rate (%CaCo₃) of soil with the vertical distribution of the cysts of *Globodera* spp..

The investigation led at the plant protection services (SRPV of Chlef) revealed the existence of collaboration between this organism and the Direction of the Agricultural Services to control these nematodes, especially in the parcels destined to the seeds multiplication, but the nematological analyses realized at the level of the SRPV of Chlef is insufficient to establish an appropriated control program. Investigation led with the farmers showed a failure of performs of the popularization services and agricultural advice concerning these parasites. The mode of conduct of the potato culture in the majority of the investigated exploitations is favorable to the development of these parasites.

With the combination of morphological techniques and molecular analysis, we identified for the first time, the species of potato cyst nematodes in the region of Ain Defla (Algeria). Both species *G. rostochiensis* and *G. pallida* are present in this region either separately or in mixed populations. We have shown the existence of intraspecific genetic variability within *G. pallida* and *G. rostochiensis* populations and have led the hypothesis of existence of a third species of *Globodera* genus subservient to potato in Mekhatria region. Concerning the origin of populations present in Ain Defla, phylogenetic study supported the hypothesis of a multi-introduction and that a country from Europe or Canada was the "transition host".

Key words: *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*, potato, Inquiry, bioecology, morphological identification, molecular characterization

دراسة بيوايكولوجية الديدان الخيطية ذات الأيسا *Globodera* البترمطة بزرعة البطاطا في سهل الشلف لأدعي

ملخص

ظاهرت دراسة التوزيع الجغرافي لديدان الخيطية ذات الأيسا اضلقرا ابلباطا في هسل الشلف اعلاى (عني ادلفى) أن هذه الطفليات حمصوة في منقطا الورنية، العامر، عين ادلفى، رطاخمية، رعبو و العطاف. و تبين من خلال حتليل رتبة هذه النمقطا أن درجة الإصابة ختتلف من منطقة إلى رخا و من حقل إلى خار. يعود هاذ الاختفلا في درجة لإصابة إلى عدة وعامل رمتطة بنماظ الرزعة او كذلك العوامل البيئية.

نم لاخل دراسة التوزيع المعودي لهذه الطفليات في حرملتين خمتلفتين من رماحل نمو الباطاط مة التوصل إلى أنه حرم في فلة ابدلات (levée)، عدد ايكلاا س ان خم تلم ان م نطقة إلى رخا، إلا أن هذا الاختفلا يملكن بسوسحم بين أعماق رتبة النمطقة نفسها. أما حرم في فلة النجض (maturation)، فقد تبين أن عدد ايكلاا س انم ختتلفا من نطقة إلى رخا و على كعس حرمة ابدلات، ظحول أن كثافة ايكلاا س ختتلف بين أعماق رتبة النمطقة نفسها. ملظتھر هذه ادلراسة في علاقة ميرشاة بين جردة الحموةضو Hp سنبه ركبونات الكالسيوم CaCO_3 % في الترتبو التوزيع المعودي لأيسا. *Globodera* spp.

نم لاخل البحث ادلي رجانيه على سمنوى ملصحة حماية النباتات (لامطحة الجهوية حلماية النباتات ابلشلف) تبين وجود تعاون بين هذه المطحة وإدائر المصالح الفحلاية ليعن الدفلى لقمومة هذه الطفليات اختصفي الحقول المسغتة في إكثار لابلزو إلا أن التاحليل الخاخص ابلميناتواد النمقزج على سمنوى هذه المطحة غير فاكية لإعددا ربنامج مكحفاة نمساب. أما البحث ادلي رجانيه مع الفحلاين فقد ظاھر نقصا في أداء مصالح الإاشرد و النصح الفيحلا ابلنسبة لهذه الطفليات كما تنبيد أن النماظ الرزاعي المتعمد من قبل الفحلاين رزلاء البي فاطاط معمظ المسمتترات الفلاحية لامئم لكناھر ذه ادليناد.

بفلض سامعتال البيقتات المفروولوجية ولاتاحليل الزجبيئية مة التوصل و ولأل قرم إلى خشتييص اللاستلا و حتديد أنواع ادليناد الخيطية ذات ايكلاا س اضلقرا ابلباطا في منطقة عين ادلفى (للاجزائر). لكا النوعين *Globodera rostochiensis* و *Globodera pallida* تمواجدين في هذه النمطقة إما مفنلصين و في لاسلا خمتططة. ظاهرت هذه دللراسة وجود خاتفلا جيني ضمن وذي بين سلالات *G. pallida* و *G. rostochiensis* مكا وتلصنا إلى حامتال وجود وذي اثلت من جنس *Globodera* رمتبط ابلباطا في منطقة رطاخمية. و فيما يتعلق أبلصد اللاستلا التماجدة في عين دللرالى، دعتم دراسة النوش و لاتروط رفضية ا دلوخل العتمدد ابلنسبة ل *G. pallida* ونا بادل من وروأبا و أ كناد كان "لامضييف اذلتالي" ل *G. rostochiensis*

لكمات فمتاح *Globodera rostochiensis*، *Globodera pallida*، الباطاط، البيوايكولوجيا، حبث، خشتييص وفر و مليجو، خشتييص زجبيي.