

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE – 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 la pomme de terre**

Présentée par : Melle DJEBROUNE Aouicha

Soutenu le 16 / 12 / 2019

Devant le jury :

| | | |
|-------------------------|--------------------------|--|
| Président : | M. DOUMANDJI Salaheddine | Professeur (E.N.S.A.) El Harrach. |
| Directeur de thèse: | M. MOKABLI Aissa | Professeur (Université de Khemis Miliana). |
| Co-directeur de thèse : | M. HAMMACHE Miloud | Professeur (E.N.S.A.) El Harrach. |
| Examineurs : | M. CHAKALI Gahdab | Professeur (E.N.S.A.) El Harrach. |
| | Mme MECELLEM Dalila | Maître de conférences A (Unive. de Bouira) |
| | Mme MARNICHE Faiza | Professeur (E.N.S.V.) Alger. |

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Ma profonde gratitude et mes vifs remerciements s'adressent à mon Directeur de thèse Monsieur A. MOKABLI, professeur à l'université Djilali Bounaama Khemis Miliana pour avoir accepté de diriger cette thèse, ses orientations, ses conseils judicieux et ses encouragements.

Je remercie mon Co-directeur de thèse Monsieur M. HAMMACHE, professeur au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique pour avoir accepté de diriger cette thèse, ses orientations, ses conseils judicieux et ses encouragements.

J'exprime mon profond respect et mes vifs remerciements à Monsieur S. DOUMANDJI, professeur au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique pour avoir bien voulu accepter de présider le jury de cette thèse, pour ses encouragements, ses précieux conseils et ses orientations.

J'exprime ma reconnaissance et mes vifs remerciements à Monsieur G. CHAKALI, professeur au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, pour avoir accepté d'évaluer ce travail, son aide généreuse, ses orientations, ses précieux conseils, sa disponibilité, ses encouragements tout en long de ce travail et tous les moyens qui a mis à ma disposition. Ainsi que pour sa contribution à la réalisation des analyses statistiques et pour les corrections qui a apporté à la publication et à la thèse. De même, pour ses qualités humaines. Il m'a facilité toutes les conditions pour réaliser ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements et toute ma gratitude à Madame D. MECELLEM, maître de conférences (A) à l'université de Bouira, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Ma gratitude et mes vifs remerciements sont adressés à Madame F. MARNICHE, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

J'exprime également ma reconnaissance et mes remerciements à Madame le Dr Maria L. INACIO et à Madame le Dr Eugenia de ANDRADE à l'unité de santé des plantes (UISSAFSV) de l'Institut National de Recherches Agronomique et Vétérinaire (INIAV, I.P.), Oeiras-Portugal pour avoir accepté l'identification morphométrique et moléculaire de matériel biologique, pour la confiance qu'elles m'ont accordé en m'accueillant dans leur laboratoire. Toute mon expérimentation sur la caractérisation morphologique et moléculaire a été conduite dans les meilleures conditions en collaboration grâce l'équipe de l'INIAV. Merci à toute l'équipe particulièrement Maria J. CAMACHO, Leidy RUSINQUE, Paula VICENTE, Margarida FONTES, Marina CARDOSO, Clara FERNANDES et Anabela AMADO pour

leur accueil et pour l'aide fructueuse tout le long de mon séjour au Portugal pour ma recherche.

Mes vifs remerciements s'adressent à Sara AYACHE, Doctorante au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, pour sa contribution à l'échantillonnage dans la région de Blida.

Ce travail a trouvé un soutien particulier des services agricoles et des producteurs de pomme de terre en Algérie. Je remercie vivement tous les personnes et les agriculteurs qui m'ont offert leur aide et pour avoir partagé avec moi pendant de nombreuses sorties à travers toutes les parcelles prospectées dans les différentes régions.

Je remercie vivement ensemble du personnel du Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants d'Alger particulièrement Madame Dr L. BOUCHOU pour avoir aidé à obtenir le matériel biologique végétal et les données sur la semence de la pomme de terre.

Mes remerciements à tous le personnel du Ministère d'Agriculture et de Développement Rural et de la Pêche particulièrement Monsieur Hamid TERZI et Madame Leïla TAHAR de Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes Informatiques (DSASI) pour les données statistiques de la pomme de terre.

A ces remerciements, je tiens à associer tous les enseignants et ensemble du personnel du Département de Zoologie Agricole et forestière pour leur soutien et leurs encouragements particulièrement Madame le Professeur B.M. DOUMANDJI.

Je suis également reconnaissante à Dr Sara HEZIL à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique et Monsieur le Dr M'hamed EL MOKHEFI à l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger pour le temps consacré à la lecture et les corrections de ma publication en anglais.

Mes hommages à mes parents, mes sœurs et mes frères pour leur compréhension et soutien lors de mes nombreuses sorties au terrain, pour leurs encouragements constants et pour leurs aides généreuses durant la période de recherche.

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

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1. Développement de pathotypes (+) ou non (–) en présence des gènes de résistance H1 et H2 | 16 |
| Tableau 2. Critères morphométriques des kystes et des juvéniles du deuxième stade pour le diagnostic des espèces <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>Globoera pallida</i> . Les valeurs extrêmes (en μm) sont fournies avec les valeurs moyennes entre parenthèses ... | 20 |
| Tableau 3. Localisation et coordonnées géographiques des régions prospectées | 36 |
| Tableau 4. Différentes parties considérées en Algérie, nombre d'échantillons contenant des kystes, des œufs et des larves des nématodes <i>Globodera</i> sp. | 44 |
| Tableau 5. Régions prospectées en Algérie, nombre d'échantillons contenant des kystes, des œufs et des larves des nématodes <i>Globodera</i> sp. | 46 |
| Tableau 6. Niveau d'infestation des régions prospectées en Algérie par les nématodes à kystes de la pomme de terre <i>Globodera</i> sp. | 49 |
| Tableau 7. Analyse de variance des densités de population des nématodes <i>Globodera</i> sp. entre les régions | 51 |
| Tableau 8. Analyse de variance des contenus des kystes des nématodes <i>Globodera</i> sp. entre les régions | 51 |
| Tableau 9. Analyse fréquentielle des densités de population des nématodes exprimées en nombre d'œufs et larves/ g de sol | 52 |
| Tableau 10. Analyse fréquentielle de nombres d'œufs et de larves par kyste des nématodes <i>Globodera</i> sp. | 53 |
| Tableau 11. Caractéristiques des sites des nématodes à kystes identifiés | 61 |
| Tableau 12. Composants et volumes respectifs dans le mélange réactionnel de PCR ... | 66 |
| Tableau 13. Séquences des amorces et des sondes TaqMan utilisées dans les réactions de PCR conventionnelle et de PCR en temps réel pour <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>Globodera pallida</i> | 67 |
| Tableau 14. Données de mensuration (en μm , à l'exclusion le rapport de Granek) des caractères morphométriques des kystes de 36 populations algériennes de nématodes de | |

| | |
|--|-----|
| la pomme de terre (elles sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-type, n=10 kystes par population et les valeurs extrêmes sont données entre parenthèses) | 77 |
| Tableau 15. Données de mensuration (en μm , à l'exclusion des rapports et la forme des boutons basaux du stylet) des caractères morphométriques des juvéniles du deuxième stade de 36 populations Algériennes de nématodes de la pomme de terre (elles sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-typs, n=10 juvéniles par population et les valeurs extrêmes sont données entre parenthèses) | 80 |
| Tableau 16. Analyse de la variance au seuil de 5% pour l'effet de l'origine de la population sur la morphométrie des kystes et des juvéniles J2 de <i>Globodera</i> | 83 |
| Tableau 17. Données de quantification de la PCR en temps réel TaqMan | 90 |
| Tableau 18. Identification morphométrique, moléculaire et finale des populations de nématodes <i>Globodera</i> sp. | 94 |
| Tableau 19. Caractéristiques des sites considérées | 104 |
| Tableau 20. Rotations culturales appliquées dans les parcelles considérées | 104 |
| Tableau 21. Période d'échantillonnage de sol dans les parcelles prospectées | 106 |
| Tableau 22. Densités de population des nématodes <i>Globodera</i> sp. exprimées en nombre de kystes/kg de sol dans les parcelles prospectées | 106 |
| Tableau 23. Densités de population des nématodes <i>Globodera</i> sp. exprimées en nombre d'œufs et de larves/g de sol dans les parcelles prospectées | 107 |
| Tableau 24. Taux de réduction (%) des densités de population des nématodes dans toutes les parcelles considérées | 108 |
| Tableau 25. Origine géographique et caractéristiques des populations des nématodes à kystes de la pomme de terre testées | 114 |
| Tableau 26. Nombre moyen de kystes/pot produit par 4 populations de <i>Globodera</i> sp. sur 6 variétés de pomme de terre | 118 |
| Tableau 27. Nombre moyen d'œufs et de larves /pot produit par 4 populations de <i>Globodera</i> sp. sur 6 variétés de pomme de terre | 118 |
| Tableau 28. Fécondité moyenne de kystes produit par 4 populations de <i>Globodera</i> sp. sur 6 variétés de pomme de terre | 119 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 29. Taux de reproduction moyen de 4 populations de <i>Globodera</i> sp. sur 6 variétés de pomme de terre | 119 |
| Tableau 30. Effet principal des populations de nématodes et des variétés de pomme de terre sur les nombres des kystes produits | 120 |
| Tableau 31. Effet principal des populations de nématodes et des variétés de pomme de terre sur les nombres d'œufs et de larves produits | 120 |
| Tableau 32. Effet principal des populations de nématodes et des variétés de pomme de terre sur la fécondité des kystes produits | 121 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1. Production de la pomme de terre dans les vingt principaux pays producteurs en 2017 | 7 |
| Figure 2. Evolution de l'importation de la pomme de terre en Algérie de 2007 à 2017. | 9 |
| Figure 3. Aire de répartition des espèces du genre <i>Globodera</i> inféodées à la culture de la pomme de terre dans le monde | 12 |
| Figure 4. Nématodes à kystes de la pomme de terre | 13 |
| Figure 5. Cycle de développement de nématodes à kystes de la pomme de terre | 15 |
| Figure 6. Région périnéale d'un kyste de nématode du genre <i>Globodera</i> et les critères utilisés pour l'identification morphométrique | 18 |
| Figure 7. Stries de la région périnéale des kystes de <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>Globodera pallida</i> | 18 |
| Figure 8. Caractères morphométriques des juvéniles du deuxième stade de <i>Globodera</i> sp. | 19 |
| Figure 9. Forme des boutons basaux du stylet des juvéniles de deuxième stades de <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>Globodera pallida</i> | 20 |
| Figure 10. Symptômes causés par les nématodes <i>Globodera</i> sp. sur la pomme de terre | 26 |
| Figure 11. Localisation des sites d'étude | 35 |
| Figure 12. Appareil de Fenwick | 39 |
| Figure 13. Etapes de l'analyse nématologique | 41 |
| Figure 14. Pourcentage des échantillons de sol infestés par <i>Globodera</i> sp. en Algérie... | 45 |
| Figure 15. Répartition du nombre de parcelles infestées par <i>Globodera</i> sp. par région prospectée | 46 |
| Figure 16. Taux d'infestation des régions prospectées en Algérie par les nématodes de la pomme de terre <i>Globodera</i> sp. | 47 |

| | |
|---|----|
| Figure 17. Carte de distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre dans différentes régions prospectées en Algérie | 48 |
| Figure 18. Classification hiérarchique des régions prospectées sur le niveau d'infestation par les nématodes à kystes de la pomme de terre <i>Globodera</i> sp. | 54 |
| Figure 19. Mensurations effectuées sur les kystes de nématodes <i>Globodera</i> sp. | 63 |
| Figure 20. Kystes de différentes populations de nématodes à kystes de la pomme de terre observés sous la loupe binoculaire (G : 10×2) | 69 |
| Figure 21. Régions périnéales des kystes de <i>Globodera pallida</i> et <i>Globodera rostochiensis</i> | 70 |
| Figure 22. Juvéniles du deuxième stade de nématodes à kystes de la pomme de terre ... | 71 |
| Figure 23. Forme des boutons basaux du stylet de nématodes à kystes de la pomme de terre | 71 |
| Figure 24. Mesures effectuées sur les juvéniles du deuxième stade de l'espèce <i>Globodera pallida</i> | 72 |
| Figure 25. Mesures effectuées sur les juvéniles du deuxième stade de l'espèce <i>Globodera rostochiensis</i> | 73 |
| Figure 26. Dendrogramme de la classification hiérarchique des 36 populations algériennes du <i>Globodera</i> sp. basée sur 16 caractères morphométriques des kystes et des juvéniles (J2) | 85 |
| Figure 27. Analyse en composantes principales des variables biométriques des kystes et des régions périnéales de <i>Globodera</i> sp. | 86 |
| Figure 28. Analyse en composantes principales des variables biométriques des juvéniles du deuxième stade de <i>Globodera</i> sp. | 87 |
| Figure 29. Produit d'amplification (PCR multiplex) de la région ITS de l'ADNr de différentes populations de nématodes à kystes de la pomme de terre | 89 |
| Figure 30. Courbes d'amplification des régions ITS1 de l'ADNr des échantillons de nématodes par la PCR en temps réel TaqMan déterminant la quantité de la fluorescence en fonction du nombre de cycles | 93 |
| Figure 31. Taux des populations par espèce de nématodes | 95 |

| | |
|--|-----|
| Figure 32. Distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre dans les régions prospectées en Algérie | 96 |
| Figure 33. Évolution des densités de population des nématodes <i>Globodera</i> sp. dans les 10 parcelles prospectées au cours de la période allant de 2014 à 2019 | 108 |
| Figure 34. Dispositif expérimental adopté en serre pour évaluer la multiplication des populations de nématodes <i>Globodera</i> sp. sur les diverses variétés de pomme de terre ... | 116 |

Liste des abréviations

ACP : Analyse en composantes principales.

ADN : Acide désoxyriboNucléique.

ADNr : Acide désoxyriboNucléique ribosomique.

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

CNCC : Centre National de Contrôle et de Certification des Semences et Plants.

Ct: Cycle Threshold (cycle seuil).

dATP: Désoxy adénine tri-phosphate.

dCTP: Désoxy cytosine tri-phosphate.

dGTP: Désoxy guanine tri-phosphate.

dNTPs : Désoxy nucléotide tri-phosphate.

dTTP: Désoxy thymine tri-phosphate.

EDTA: Ethylene-diamine tetra-acetic acid.

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).

INPV : Institut National de la Protection des Végétaux.

ITS: Internal Transcribed Spacer (région interne transcrite).

MgCl₂ : Chlorure de magnésium.

NaCl : Chlorure de sodium.

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

pb : Paires de base.

PCR : Polymerase Chain Reaction (Réaction en chaîne par polymérase).

PCR-RFLP: Polymerase Chain Reaction-Restriction Fragment Length Polymorphism (Réaction en chaîne par polymérase- polymorphisme de longueur des fragments de restriction).

Pf: Population Finale.

Pi: Population Initiale.

QPCR: Quantitative Polymerase Chain Reaction (Réaction en chaîne par polymérase quantitative).

TAE : Tris Acetate EDTA.

TE : Tris-EDTA.

tr / min : tour / minute.

S o m m a i r e

| | |
|------------------------------------|---|
| Introduction générale | 1 |
|------------------------------------|---|

PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique

PREMIER CHAPITRE : Données sur la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)

| | |
|--|----|
| I.1. Biogéographie et historique de la pomme de terre | 4 |
| I.2. Taxonomie de la pomme de terre | 4 |
| I.3. Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre | 5 |
| I.4. Stades phénologiques de la pomme de terre | 5 |
| I.5. Importance économique de la pomme de terre | 6 |
| I.5.1. Dans le monde | 6 |
| I.5.2. En Algérie | 7 |
| I.6. Diversité des variétés de pomme de terre cultivées en Algérie | 10 |
| I.7. Etat phytosanitaire de la pomme de terre | 10 |

DEUXIEME CHAPITRE : Synthèse de données sur les nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera*

| | |
|--|----|
| II.1. Historique et biogéographie | 11 |
| II.2. Position taxonomique | 12 |
| II.3. Caractères morphologiques | 13 |
| II.4. Biologie des nématodes à kystes de la pomme de terre | 14 |
| II.4.1. Comportement biologique | 14 |
| II.4.2. Diapause | 15 |
| II.5. Diversité des pathotypes | 16 |
| II.6. Identification des espèces de <i>Globodera</i> | 16 |
| II.6.1. Identification morphométrique | 17 |
| II.6.1.1. Kystes | 17 |
| II.6.1.2. Juvéniles du deuxième stade | 19 |
| II.6.2. Identification biochimique | 21 |

| | |
|---|----|
| II.6.3. Identification moléculaire | 22 |
| II.6.3.1. PCR multiplexe | 23 |
| II.6.3.2. PCR quantitative | 23 |
| II.6.3.3. PCR-RFLP | 24 |
| II.7. Modes de dissémination | 24 |
| II.8. Gamme d'hôtes | 25 |
| II.9. Symptômes et dégâts | 25 |
| II.9.1. Au champ | 25 |
| II.9.2. Sur les feuilles | 25 |
| II.9.3. Sur les racines | 26 |
| II.10. Facteurs influant sur le développement des nématodes | 27 |
| II.10.1. Facteurs biotiques | 27 |
| II.10.2. Facteurs abiotiques | 27 |
| II.10.2.1. Climat | 27 |
| II.10.2.1.1. Température | 27 |
| II.10.2.1.2. Humidité | 28 |
| II.10.2.2. Sol | 28 |
| II.10.2.2.1. Type de sol | 28 |
| II.10.2.2.2. Aération du sol | 28 |
| II.11. Méthodes de lutte | 28 |
| II.11.1. Mesures préventives | 28 |
| II.11.2. Mesures curatives | 29 |
| II.11.2.1. Méthodes culturales | 29 |
| II.11.2.1.1. Désherbage | 29 |
| II.11.2.1.2. Jachère | 29 |
| II.11.2.1.3. Plantes pièges | 29 |
| II.11.2.1.4. Rotations culturales | 30 |
| II.11.2.2. Méthodes chimiques | 30 |
| II.11.2.3. Méthode génétique | 31 |
| II.11.2.4. Méthodes biologiques | 32 |

DEUXIEME PARTIE : Analyse experimental

PREMIER CHAPITRE : Etat des infestations et biogéographie des nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera* en Algérie

| | |
|--|----|
| I.1. Matériels et méthodes | 34 |
| I.1.1. Choix des sites d'étude | 34 |
| I.1.2. Méthodologie adoptée | 36 |
| I.1.2.1. Analyse nématologique | 36 |
| I.1.2.1.1. Echantillonnage de sol | 37 |
| I.1.2.1.2. Extraction des kystes | 38 |
| I.1.2.1.2.1. Principe | 38 |
| I.1.2.1.2.2. Mode opératoire | 39 |
| I.1.2.1.2.3. Récolte des kystes | 40 |
| I.1.2.1.2.4. Dénombrement | 40 |
| I.1.2.1.2.5. Evaluation de l'infestation | 40 |
| I.1.3. Méthodes d'analyses des données | 42 |
| I.2. Résultats et discussion | 44 |
| I.2.1. Résultats | 44 |
| I.2.1.1. Distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre <i>Globodera</i> sp. dans différentes parties de l'Algérie | 44 |
| I.2.1.2. Distribution des nématodes à kystes <i>Globodera</i> sp. dans différentes régions. | 46 |
| I.2.1.3. Niveau d'infestation des nématodes <i>Globodera</i> sp. | 48 |
| I.2.1.4. Exploitation des données | 50 |
| I.2.1.4.1. Analyse de variance | 50 |
| I.2.1.4.2. Analyse fréquentielle de la densité de population et le contenu des kystes | 51 |
| I.2.1.4.3. Classification hiérarchique | 53 |
| I.2.2. Discussion | 54 |

DEUXIEME CHAPITRE : Identification morphométrique et moléculaire de quelques populations algériennes de nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*

| | |
|--------------------------------------|----|
| II.1. Matériels et méthodes | 61 |
| II.1.1. Matériels biologiques | 61 |
| II.1.2. Analyse morphométrique | 62 |
| II.1.2.1. Kystes | 62 |

| | |
|---|----|
| II.1.2.2. Juvéniles | 63 |
| II.1.3. Analyse moléculaire | 64 |
| II.1.3.1. Extraction de l'ADN | 64 |
| II.1.3.2. Réaction en chaîne par polymérase conventionnelle (PCR conventionnelle) | 65 |
| II.1.3.3. Réaction en chaîne par polymérase en temps réel TaqMan (PCR en temps réel TaqMan) | 66 |
| II.2. Résultats et discussion | 68 |
| II.2.1. Résultats | 68 |
| II.2.1.1. Analyse morphométrique des nématodes à kystes de la pomme de terre ... | 68 |
| II.2.1.1.1. Examen morphologiques des nématodes à kystes de la pomme de terre ... | 68 |
| II.2.1.1.1.1. Kystes | 68 |
| II.2.1.1.1.2. Juvéniles | 71 |
| II.2.1.1.1.3. Œufs | 74 |
| II.2.1.1.2. Données morphométriques des nématodes à kystes de la pomme de terre. | 74 |
| II.2.1.1.3. Exploitation statistique des données morphométriques des populations de nématodes | 83 |
| II.2.1.1.3.1. Analyse de la variance | 83 |
| II.2.1.1.3.2. Classification hiérarchique | 84 |
| II.2.1.1.3.3. Analyse en composantes principales (ACP) | 86 |
| II.2.1.2. Analyse moléculaire | 87 |
| II.2.1.2.1. Réaction en chaîne par polymérase conventionnelle (PCR conventionnelle) | 87 |
| II.2.1.2.2. Réaction en chaîne par polymérase en temps réel TaqMan (PCR en temps réel TaqMan) | 90 |
| II.2.1.3. Identification finale des populations de nématodes | 93 |
| II.2.1.4. Distribution des espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre en Algérie | 95 |
| II.2.2. Discussion | 98 |

TROISIEME CHAPITRE : Effet de la rotation culturale sur le développement des populations des nématodes à kystes de la pomme de terre

| | |
|---|-----|
| III.1. Matériels et méthodes | 103 |
| III.1.1. Présentation des sites d'étude | 103 |
| III.1.2. Systèmes de culture | 104 |
| III.1.3. Méthodologie de travail | 105 |
| III.2. Résultats et discussion | 106 |

| | |
|---|-----|
| III.2.1. Résultats | 106 |
| III.2.1.1. Densités de population des nématodes | 106 |
| III.2.1.2. Taux de réduction des densités de population des nématodes | 108 |
| III.2.2. Discussion | 109 |

**QUATRIEME CHAPITRE : Multiplication des nématodes à kystes du genre
Globodera sur diverses variétés de pomme de terre**

| | |
|--|-----|
| IV.1. Matériels et méthodes | 113 |
| IV.1.1. Populations de nématodes | 113 |
| IV.1.2. Variétés de pomme de terre | 114 |
| IV.1.3. Test de multiplication | 114 |
| IV.2. Résultats et discussion | 116 |
| IV.2.1. Résultats | 116 |
| IV.2.2. Discussion | 121 |
| Conclusions générales | 123 |
| Références bibliographiques | 126 |
| Annexes | 142 |

Introduction générale

Introduction générale

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est l'une des plus importantes cultures sur le plan économique et constitue un élément essentiel à l'alimentation humaine à l'échelle mondiale. Elle est cultivée dans de nombreuses régions du monde sur une superficie de 19,3 millions d'hectares, assurant une production de 388,19 millions de tonnes en 2017 ce qui permet de classer la pomme de terre au cinquième rang après la canne à sucre, le maïs, le blé et le riz (FAOSTAT, 2019). L'Algérie figure parmi les principaux pays producteurs de pomme de terre au monde et occupe la seizième place (FAOSTAT, 2019) avec une production de 46,06 millions de quintaux sur une surface de 148822 hectares en 2017 (MADR, 2019). La pomme de terre est un produit de base pour le consommateur algérien, les disponibilités par tête sont estimées à 111,5 kg en 2017 (MADR, 2018). Actuellement, la production de la pomme de terre est instable (MADR, 2019). Divers facteurs limitent la production de la pomme de terre notamment les aléas climatiques, la non maîtrise de l'itinéraire technique particulièrement le choix du potentiel génétique de la semence et le travail du sol (Chehat, 2008) ainsi que les attaques des maladies et des parasites. Parmi ces derniers, on note une diversité de nématodes phytoparasites appartenant aux genres *Ditylenchus*, *Pratylenchus*, *Meloidogyne* et *Globodera* (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Mugniéry *et al.*, 1996 ; Hlaoua *et al.*, 2010).

Les espèces de nématodes à kystes, *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959 et *Globodera pallida* Stone, 1973, sont par excellence des ravageurs de pomme de terre dans diverses régions du globe (Turner et Evans 1998), causant des pertes annuelles d'environ 9% de la production mondiale (Turner et Subbotin, 2013). De même, ils entraînent des pertes indirectes résultant des dépenses supplémentaires liées aux mesures de contrôle notamment le coût élevé aux produits de nématicides (Alan et Susan, 1998 ; Evans *et al.*, 2002). De plus, l'infection par ces bioagresseurs est liée à une survie à long terme de leur kyste dans le sol qui entraîne l'interdiction de la parcelle infestée de production de pomme de terre sur plusieurs années (Youssef, 2013). Néanmoins, ils sont souvent négligés, car ils sont microscopiques et contaminés par le sol. En outre, leur interaction avec les hôtes entraînent généralement des symptômes en surface relativement non spécifiques à l'agent pathogène, tels

que la faiblesse, le flétrissement, le jaunissement, le retard de croissance et le dessèchement du plant de pomme de terre ainsi que des zones de faible croissance dans la parcelle (Mugniéry *et al.*, 1996 ; Turner et Evans, 1998; OEPP, 2004). Les nématodes à kystes de la pomme de terre constituent le deuxième groupe des 10 principaux nématodes phytoparasites d'importance scientifique et économique (Grenier et Mimee, 2017). En raison de leur potentiel dommageable, les nématodes à kystes de la pomme de terre sont soumis à des règlements de quarantaine dans de nombreux pays (OEPP, 2013).

Les nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera* ont été détectés dans les Andes (Amérique du sud), puis en Europe, en Asie, en Afrique du nord, aux îles Canaries et en Amérique occidentale (Winslow et Willis, 1972). Actuellement, ces nématodes sont présents dans diverses régions du monde, initialement par l'intermédiaire du sol adhérent aux tubercules provenant de terres infestées, mais aussi par toute autre voie de transport de sol contenant ces organismes (Grenier et Mimee, 2017). En Algérie, les nématodes à kystes de la pomme de terre ont été détectés pour la première fois en 1953 à Alger (Frézal, 1954). Par la suite, ces parasites ont pris une large extension occasionnant des pertes à la production de la pomme de terre à travers le territoire national (INPV, 2009, Djebroune, 2013 ; Tirchi *et al.*, 2016 ; Mezerket *et al.*, 2018).

L'identification rapide et précise des espèces *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* est essentielle lors de la conception de mesures de contrôle efficaces. La différenciation de ces espèces sur la base de caractères morphologiques et morphométriques des kystes et des juvéniles de deuxième stade est souvent utilisée, mais elle est fastidieuse. En outre, elle est difficile en raison de chevauchement de certains caractères taxonomiques entre les espèces de *Globodera* (Fleming et Powers, 1998 ; Manduric *et al.*, 2004). Cependant, les méthodes d'identification moléculaires basées sur l'ADN peuvent être d'excellents outils complétant l'identification morphométrique. Ces méthodes sont rapides, fiables et peuvent être utilisées régulièrement. Différentes techniques ont été développées et utilisées avec succès pour détecter les nématodes à kystes de la pomme de terre. La réaction en chaîne par polymérase (PCR) (Ferris *et al.*, 1995; Thiéry et Mugniéry, 1996), la réaction en chaîne par polymérase quantitative (QPCR) (Madani *et al.*, 2005 ; Bačić *et al.*, 2008 ; Toyota *et al.*, 2008 ; Nakhla *et al.*, 2010), le polymorphisme de longueur des fragments de restriction ou RFLP (Burrows et Perry, 1988 ; Fleming *et al.*, 2000; Skantar *et al.*, 2007 ; Sirca *et al.*, 2010) sont les outils de diagnostic les plus couramment utilisés.

La longue longévité des nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* dans le sol est l'une des raisons qui rend difficile une alternative de lutte (Trudgill *et al.*, 1987). Par conséquent, de nombreuses stratégies ont été mises au point pour lutter contre ces nématodes dommageables. Les restrictions croissantes imposées à l'application de produits chimiques contre les nématodes nécessitent au recours à d'autres méthodes de lutte plus prometteuses, telles que les longues rotations culturales et l'utilisation des variétés résistantes (Fleming et Turner, 1998). L'introduire dans le système cultural des plantes non hôtes (autre que les Solanacées) permet de réduire considérablement les populations de nématodes (Mugniery et Oger, 1982 ; Toida et Ekanayake, 1992 ; Pacajes *et al.*, 2002 ; Bélair *et al.*, 2016). L'utilisation des variétés résistantes constitue l'une des méthodes de lutte efficace et économique (Schneider et Mugniéry, 1971, Chauvin *et al.*, 2008).

L'importance économique considérable des dégâts provoqués par les nématodes à kystes du genre *Globodera* sur la culture de la pomme de terre et le manque des données sur ces bioagresseurs en Algérie, nous ont incités d'entreprendre cette investigation de recherches. L'objectif fondamental est de tirer des renseignements essentiels sur leur répartition géographique, leur diversité, leur évolution et leur reproduction sur différentes variétés de pomme de terre afin de proposer une stratégie de lutte efficace. Dans un premier volet, nous présentons une synthèse des données recueillies sur les nématodes à kystes du genre *Globodera* et son hôte principal la pomme de terre. Le second volet traite de l'analyse expérimentale, laquelle est divisée en quatre parties. La première, sur l'infestation et la biogéographie de ces nématodes dans les régions de pomme de terre. La seconde concerne l'identification morphométrique et moléculaire des populations de nématodes du genre *Globodera*. L'effet des rotations culturales sur l'évolution des nématodes est présenté dans la troisième partie et la multiplication des populations de ces parasites sur différentes variétés de pomme de terre est présentée dans la quatrième partie.

PREMIERE PARTIE

Synthèse bibliographique

PREMIER CHAPITRE

Données sur la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)

PREMIER CHAPITRE

Données sur la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)

I.1. Biogéographie et historique de la pomme de terre

La pomme de terre *Solanum tuberosum* L. est originaire d'Amérique du sud. Son introduction en Europe s'est produite quelques années avant la fin du 16^{ème} siècle par deux entrées; la première par l'Espagne vers 1570 et la seconde par les îles Britanniques entre 1588 et 1593 (Spire et Rousselle, 1996). Par la suite elle s'est retrouvée successivement en Italie, puis en France et en Belgique (Darpoux et Debelley, 1967). Depuis l'Europe, la culture de la pomme de terre s'est étendue dans d'autres régions du monde par les coloniales (Spire et Rousselle, 1996).

En Algérie, la pomme de terre a probablement, été introduite une première fois au 16^{ème} siècle par les Maures andalous qui ont propagé les cultures de tomate, de poivron, de maïs et de tabac dans la région. Par la suite, elle est restée dans l'oubli n'ayant pas suscité d'intérêt. Dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, les colons l'ont cultivé pour leur usage, car les algériens y sont réticents malgré les disettes successives. Après l'indépendance (1962) de l'Algérie, la pomme de terre est devenue une des principales cultures destinées à la consommation.

I.2. Taxonomie de la pomme de terre

D'après Cronquist (1988), la pomme de terre appartient:

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Sous-famille : Solanoideae

Genre : *Solanum*

Espèce : *Solanum tuberosum*

I.3. Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre

La pomme de terre est une plante herbacée vivace par ces tubercules mais cultivée en culture annuelle (Rossignol et Rousselle-Bourgeois, 1996). C'est une plante à système racinaire fasciculé portant des tubercules comestibles et une ou plusieurs tiges de port plus ou moins dressé, sur lesquelles sont disposées les feuilles composées d'une manière alternée, l'inflorescence à l'extrémité portée par un pédoncule (Grison, 1983 ; Rossignol et Rousselle-Bourgeois, 1996) et les fruits sont des baies qui comportent de nombreuses graines essentiellement utilisées dans les programmes de sélection variétale (Rossignol et Rousselle-Bourgeois, 1996).

Les fleurs sont autogames mais l'autofécondation se produit faiblement, car les fleurs sont souvent stériles en raison de la stérilité mâle qui touche 70% des cultivars. Il s'agit d'avortement partiel ou total des étamines ou de stérilité du pollen par les hautes températures (Rossignol et Rousselle-Bourgeois, 1996). En outre, l'absence de nectar chez les fleurs limite la fécondation croisée dans la nature (Darpoux et Debilly, 1967 ; Rossignol et Rousselle-Bourgeois, 1996). Par ailleurs, il existe des variétés qui ne fleurissent pas (Grison, 1983).

I.4. Stades phénologiques de la pomme de terre

Le cycle de développement de la pomme de terre s'effectue de trois à quatre mois Et se déroule en cinq phases principales à partir du tubercule germé (Ellissèche, 1996).

La germination : Après la plantation du tubercule, en conditions favorables (température 18 à 20°C, et l'humidité relative 60 à 80%), ses germes s'allongent jusqu'au niveau du sol ce qui constitue « le stade levé ». En même temps, les racines commencent leur élongation et leur ramification. Pendant cette période, la plante est dépendante des réserves du tubercule mère.

La croissance : Les germes poursuivent leur croissance au-dessus du sol en devenant des tiges feuillées, ce qui rend la plante autotrophe. Les bourgeons aériens des tiges donnent des rameaux et les bourgeons souterrains donnent des stolons. Les températures élevées et les jours longs favorisent la croissance.

La tubérisation : Au bout d'un certain temps variable (selon les variétés et le milieu), les stolons cessent leur élongation et leurs extrémités se renflent pour former les ébauches des tubercules.

Le grossissement des tubercules : Cette phase est caractérisée par l'augmentation des grains d'amidon. Elle s'arrête pendant la sénescence de la plante.

La sénescence : La sénescence se traduit par le jaunissement progressif des feuilles, de la base vers le sommet de la plante et conduit au dessèchement total du système aérien.

Ces différentes phases sont sous l'influence du tubercule mère à travers son âge physiologique et son calibre et sous la dépendance de la lumière à travers son effet photopériodique et son intensité.

I.5. Importance économique de la pomme de terre

I.5.1. Dans le monde

La culture de pomme de terre représente un secteur économique important au niveau international. En 2017, la production mondiale de pomme de terre est estimée à 388,19 millions de tonnes pour une superficie cultivée de 19,3 millions d'hectares, ceci lui confère la cinquième place après la canne à sucre, le maïs, le blé et le riz. Le rendement moyen est plus de 20,1 tonnes par hectare. Les trois premiers pays producteurs dans l'ordre ; la Chine, l'Inde et la Russie avec une production respectivement de 99,29, de 48,60 et de 29,59 millions de tonnes (Fig.1). La consommation mondiale moyenne de ce légume est de l'ordre de 31 kg/habitant/an (FAOSTAT, 2019).

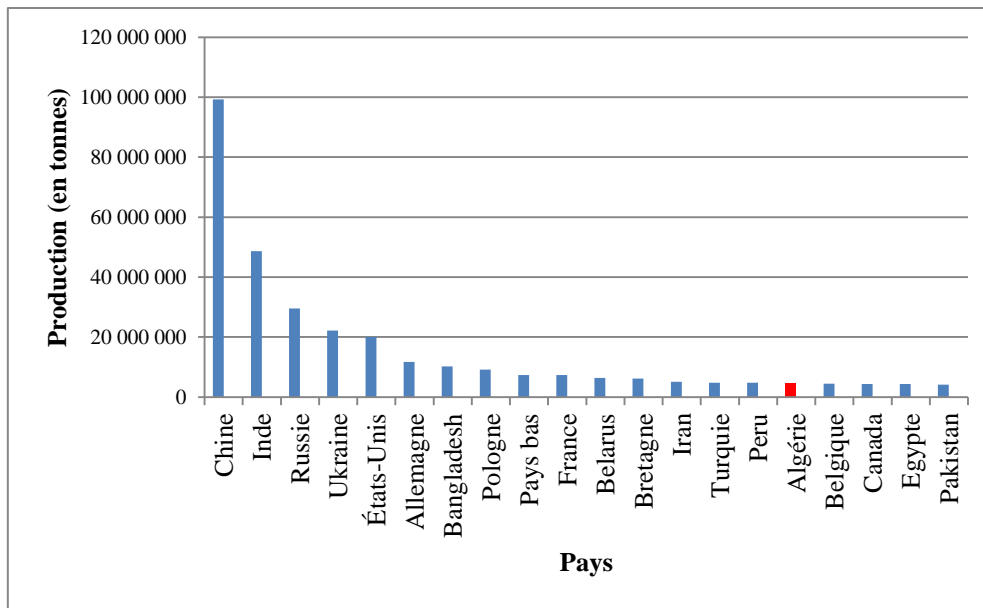


Figure 1. Production de la pomme de terre dans les vingt principaux pays producteurs en 2017 (FAOSTAT, 2019).

I.5.2. En Algérie

La pomme de terre est l'une des principales cultures en Algérie car, c'est un aliment de base de deuxième ordre après les céréales (Amirouche, 2009). D'après les données du MADR recueillies en 2019, la pomme de terre est cultivée dans toutes les régions du pays. Les 10 principales régions productrices sont; El-Oued, Ain-Defla, Mostaganem, Mascara, Bouira, Skikda, Tlemcen, Tiaret, Chlef et Tebessa (Annexe 1). Selon les zones et le climat, ce légume est cultivé trois fois par an; la culture de saison (plantation de janvier à mars et la récolte en mai-juin.) qui est la plus pratiquée dans toutes les régions, la culture d'arrière-saison (plantation en juillet-août et la récolte en octobre-décembre) qui occupe la seconde place et elle se pratique dans des zones irrigables puisque presque tout le cycle de la culture se déroule en absence de pluies et la culture de primeur (plantation octobre- novembre et la récolte en janvier) n'occupe qu'une place mineure et elle se rencontre surtout sur le littoral à température douce avec absence de gel (Chehat, 2008).

En 2017, un total de 148822 ha sont cultivés par la pomme de terre, soit près de 30 % de la superficie consacrée aux cultures maraîchères qui assurent une production de 46,06 millions de quintaux avec un rendement de 309,5 quintaux par hectare (MADR, 2019). Avec cette production, l'Algérie occupe la 16ième place à l'échelle mondiale et la première place en Afrique (FAOSTAT, 2019). En termes de consommation moyenne, elle est de l'ordre de

111,5 kg/habitant/an, contre une consommation mondiale moyenne de 31 kg/habitant/an, soit plus de trois fois de la moyenne mondiale, ce qui permet de classer l'Algérie parmi les plus gros consommateurs de la pomme de terre. A titre comparatif, la Bélarusse occupe la première place avec une consommation de 181 kg/habitant/an, alors que celle du Royaume-Uni est de 102 kg et la Tunisie avec 30 kg. A l'échelle africaine, la consommation moyenne est de 4 kg/habitant/an (MADR, 2018). Cela reflète le rôle qu'occupe ce légume dans le régime alimentaire et l'économie de la population algérienne.

Par ailleurs, grâce à l'amélioration des techniques de production, la filière de la pomme de terre a connu une progression significative au cours de la dernière décennie en matière de superficie, production et rendement (Annexe 2 et Fig.2) (MADR, 2019). La production nationale a permis non seulement de couvrir les besoins nationaux mais également d'exporter. En 2016, l'Algérie a exporté 2600 tonnes vers 16 pays dont 849, 605 et 487 tonnes vers les Emirats Arabes Unis, le Qatar et l'Espagne respectivement. Les quantités exportées en 2017 sont de 817 tonnes dont 500 tonnes vers le Qatar et 249 tonnes vers l'Espagne (MADR, 2018).

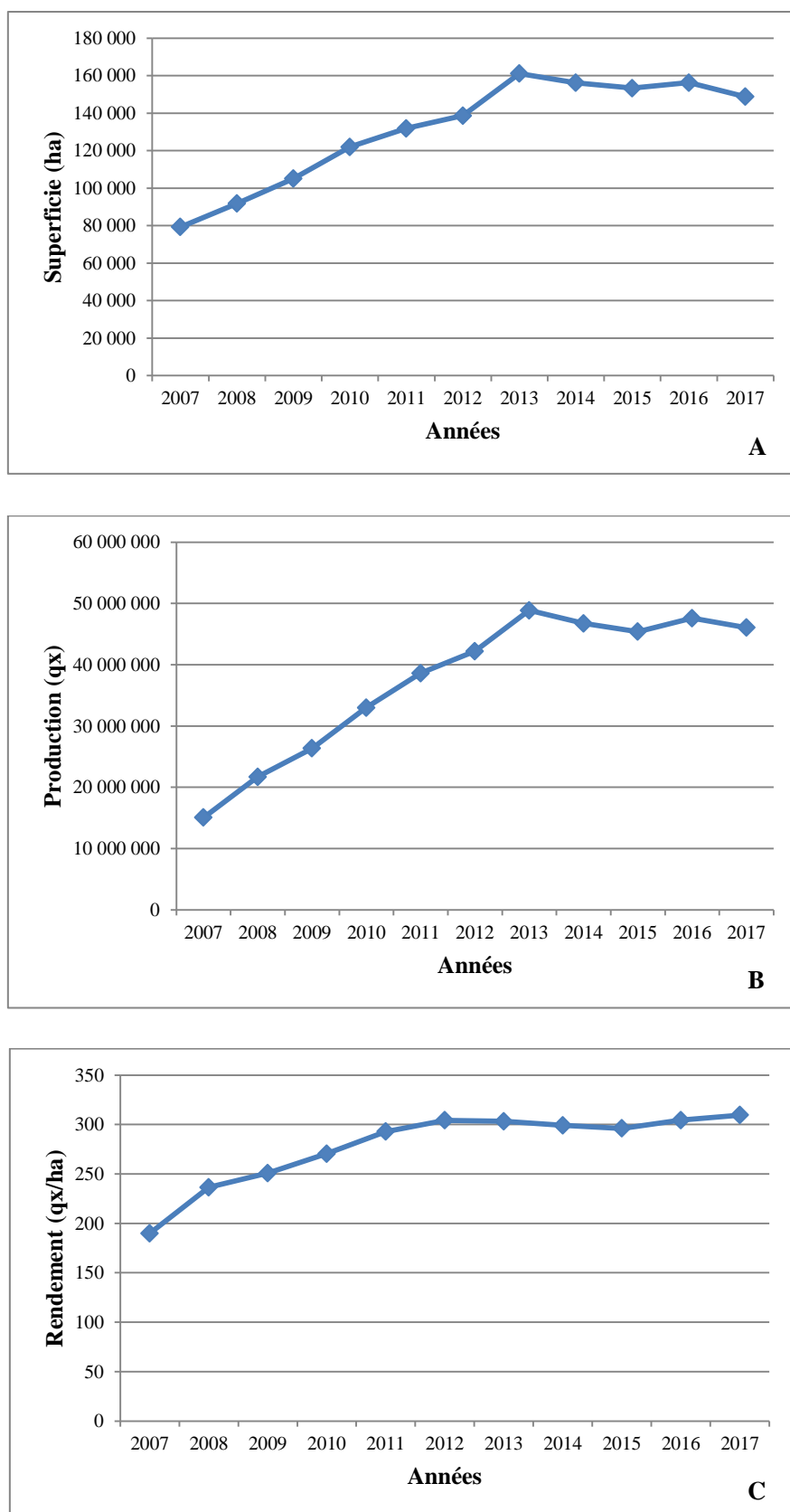


Figure 2. Evolution de l'importation de la pomme de terre en Algérie de 2007 à 2017 : **A** : Superficie, **B** : Production, **C** : Rendement (FAOSTAT, 2019).

I.6. Diversité des variétés de pomme de terre cultivées en Algérie

En Algérie, les variétés inscrites au catalogue sont de l'ordre de 195 variétés dont les plus cultivées sont Spunta, Bartina, Fabula et Diamant qui sont à peau blanche ; Désirée, Kondor et Kuroda à peau rouge (CNCC, 2019).

Pour qu'une variété de pomme de terre soit importée et cultivée en Algérie, elle doit obtenir l'homologation délivrée par le centre national de contrôle et de certification des semences et plants (CNCC), ceci après des essais de tests de comportement sur plusieurs saisons dans différentes régions du pays.

La liste provisoire des variétés de pomme de terre autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie est présentée en Annexe 3.

1.7. Etat phytosanitaire de la pomme de terre

La pomme de terre est soumise à la pression des attaques d'un grand nombre de maladies et de ravageurs qui constituent une contrainte biotique majeure à la production. Les principales maladies rencontrées sur cette culture sont d'origine fongique (le mildiou causé par *phytophthora infestans*, l'alternariose causée par les espèces *Alternaria solani* et *Alternaria alternata*), bactérienne (la gale commune *Streptomyces scabies*, la pourriture brune *Ralstonia solanacearum*) et virale (la mosaïque plane de la pomme de terre causée par le Virus X de la pomme de terre (PVX)) (Karlen *et al.*, 1996 ; Chibane, 1999).

Parmi les ravageurs qui s'attaquent à cette culture, de nombreux insectes sont notés ; la teigne de la pomme de terre *Phthorimaea operculella* et les pucerons principalement *Myzodes persicae*, *Aphis rhamni*, *Macrosiphum solani* (Duvauchelle et Dubois, 1997 ; Chibane, 1999). De même les nématodes des genres (*Globodera*, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Ditylenchus*) peuvent également affecter significativement la production de pomme de terre (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Mugniéry *et al.*, 1996 ; Hlaoua *et al.*, 2010).

DEUXIEME CHAPITRE

**Synthèse de données sur les
nématodes à kystes de la pomme
de terre du genre *Globodera***

DEUXIEME CHAPITRE

Synthèse de données sur les nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera*

II.1. Historique et biogéographie

Les nématodes à kystes du genre *Globodera* sont originaires de la Cordillère des Andes en Amérique du Sud (Evans et Stone 1977). Ils ont été longtemps considérés comme une seule espèce : *Heterodera rostochiensis* depuis sa description par Wollenweber en 1923 et appelé communément nématode doré de la pomme de terre. Des études plus poussées ont conduit à l'identification deux espèces différentes, par Stone en 1972, *Heterodera rostochiensis* et *Heterodera pallida*. Plus tard, les deux espèces ont été assignées dans le genre *Globodera* par Behrens en 1975 (Mulvey et Stone, 1976).

Les deux espèces, *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) et *Globodera pallida* (Stone, 1972) ont été introduites en Europe au milieu du 19ème siècle probablement avec les tubercules collectés après 1845 pour leur résistance supposée à *Phytophthora infestans*. De là, à la suite de la sélection des variétés modernes de leur multiplication et de leur exportation, elles ont été disséminées largement à travers le monde (Mugniéry *et al.*, 1996) par l'intermédiaire des distributions de plants européens, issus de parcelles contaminées. Actuellement, ces nématodes présentent une répartition cosmopolite. Ils ont été signalés dans 71 pays et 6 îles du monde entier ; 35 pays possèdent les deux espèces de *Globodera*, 33 pays présentent que *Globodera rostochiensis* et 3 pays possèdent uniquement *Globodera pallida* (Fig.3) (Grenier et Mimee, 2017).

En Algérie, ces nématodes ont été signalés pour la première fois à Alger en 1953 suite à l'introduction de semences de pomme de terre d'origine britannique. Ensuite, ils sont propagés dans le littoral algérois touchant différentes localités (Frezal, 1954). Depuis, les espèces sont disséminées dans diverses régions du pays dont les plus importantes sont Ain Defla, Tipaza, Chlef, Mascara et Sétif (INPV, 2009). En 2017, l'INPV rapporte que ces bioagresseurs se répartissent largement à travers les terres maraîchères du territoire.

Récemment, ces nématodes ont été détectés à Boumerdes, Blida et même au sud à Bechar et à El Oued (Mezerket *et al.*, 2018).

Deux nouvelles espèces de *Globodera* ont été décrites récemment ; *Globodera ellingtonae*, détectée sur la pomme de terre en Oregon, États-Unis (Handoo *et al.*, 2012) et en Argentine (Lax *et al.*, 2014) et *Globodera capensis* détecté dans une parcelle de pomme de terre en Afrique du Sud (Knoetze *et al.*, 2013). Une forte ressemblance entre les diverses espèces citées et les espèces *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. Seule des méthodes moléculaires peuvent permettre une distinction fiable de la diversité spécifique des *Globodera*.



Figure 3. Aire de répartition des espèces du genre *Globodera* inféodées à la culture de la pomme de terre dans le monde (Grenier et Mimee, 2017).

II.2. Position taxonomique

Selon Reddy (1983), les nématodes à kystes de la pomme de terre appartiennent :

Embranchement : Nematelminthes

Classe : Secernentea

Sous classe : Nematoda

Ordre : Tylenchida

Sous ordre : Tylenchina

Super famille : Heteroderidea

Famille : Heteroderidae

Sous famille : Heteroderinae

Genre : *Globodera*

Espèce : *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*

II.3. Caractères morphologiques

Les espèces de nématodes du genre *Globodera* sont caractérisées par un dimorphisme sexuel très prononcé au stade adulte. Les mâles sont filiformes allongés de 1 mm de longueur environ et leur queue est courte et effilée portant les organes copulateurs. Par contre les femelles sont de forme sphérique remplies d'œufs de 0,3 à 0,9 mm de diamètre avec un cou qui fait saillie et qui contient l'œsophage et les glandes associées (Fig. 4A, B) (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Golden et Ellington, 1972).

Les formes juvéniles de deuxième stade sont vermiformes de 0,440 à 0,470 mm de longueur environ. Leur bouche est munie d'un puissant stylet pour traverser les parois cellulaires et leur queue est effilée (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Golden et Ellington, 1972).

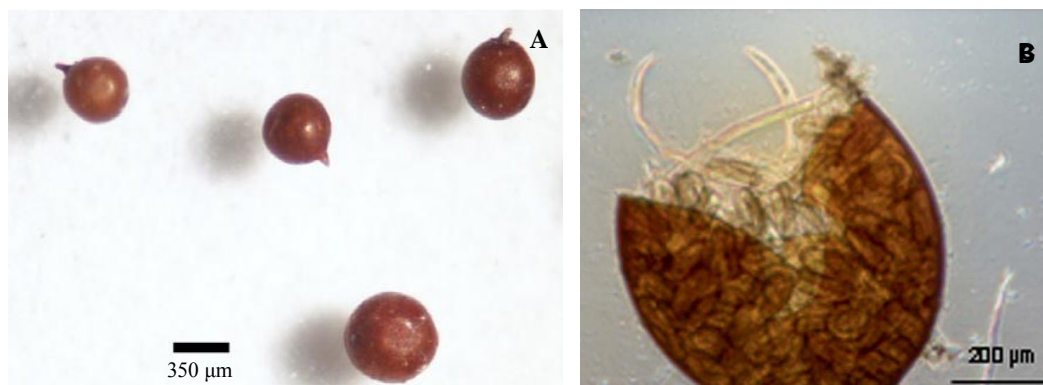


Figure 4. Nématodes à kystes de la pomme de terre ; A : kystes de *Globodera* sp. (OEPP, 2017). B : kyste ouvert avec des œufs et les juvéniles de *Globodera rostochiensis* (Yu *et al.*, 2010).

II.4. Biologie des nématodes à kystes de la pomme de terre

II.4.1. Comportement biologique

Les nématodes à kystes de la pomme de terre sont des endoparasites sédentaires qui passent par 4 stades larvaires et un stade adulte. Les écophases de développement sont illustrés sur la figure 5.

Le premier stade larvaire (L1) se déroule à l'intérieur de l'œuf contenu dans le kyste où le nématode mue pour donner le second stade larvaire (L2) avant l'éclosion (Raski, 1950). Sous l'effet des exsudats racinaires de la plante hôte, et dans des conditions optimales de température et d'humidité, les larves de deuxième stade L2 (stade infectieux) quittent les kystes et se déplacent dans le sol humide à la recherche de radicelles d'un hôte favorable à la pénétration. A l'aide du stylet buccal, les larves percent l'écorce de la racine près de la coiffe et y pénètrent. Elles progressent par la suite parallèlement au cylindre central où elles induisent la formation de cellules géantes appelées « Syncytium » dont elles se nourrissent et finissent par s'immobiliser. A ce stade le nématode se sédentarise (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Jones et Northcote, 1972).

Les larves de deuxième stade se développent dans cet endroit et passent par les stades larvaires L3 et L4 pour devenir un adulte mâle ou femelle (Schneider et Mugniéry, 1971). La détermination du sexe est strictement épi génétique, c'est-à-dire, tout facteur favorable aux nématodes induit le phénotype femelle, et tout facteur défavorable comme la surpopulation, un mauvais état physiologique de la plante attaquée, induit le phénotype mâle (Mugniéry *et al.*, 1996).

Le dernier stade de développement est le stade adulte qui correspond à la libération des mâles dans le sol et au gonflement et l'émergence des femelles à l'extérieur de la racine (mais y restent attachées avec le cou) sous forme de petites boules blanches. Elles sont ensuite fertilisées par les mâles adultes qui se trouvent dans le sol (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Jones et Northcote, 1972).

Après l'accouplement, les mâles meurent et les femelles demeurent sur la racine pendant que les œufs se développent dans leur intérieur. Quand les femelles sont totalement développées elles meurent ; leur peau durcit, leur coloration passe du blanc au jaune doré puis au brun-rouge chez *Globodera rostochiensis* de du blanc au brun-rouge chez *Globodera pallida* et se transforment en une enveloppe protectrice (le kyste) autour des œufs à l'intérieur. A ce

moment, les kystes se détachent de la surface de la racine et se retrouvent libre dans le sol. Le kyste peut contenir jusqu'à un millier d'œufs qui peuvent rester viables pendant 20 à 30 ans en l'absence des Solanacées hôtes et permettent d'assurer plusieurs infestations consécutives (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Brodie *et al.*, 1993 ; Turner, 1996) . Le kyste constitue un excellent organe de dissémination et de conservation. Une durée de 38 à 48 jours (dépendant de la température du sol) est nécessaire pour accomplir le cycle (Gréco *et al.*, 1988). Dans les régions froides (comme la France) il n'y a qu'une seule génération par an, correspondant à une culture de la plante hôte. Toutefois, dans les régions plus chaudes comme l'Algérie, où l'on pratique souvent deux cultures de pomme de terre la même année, il y'a au moins deux générations (Schneider et Mugniéry, 1971).

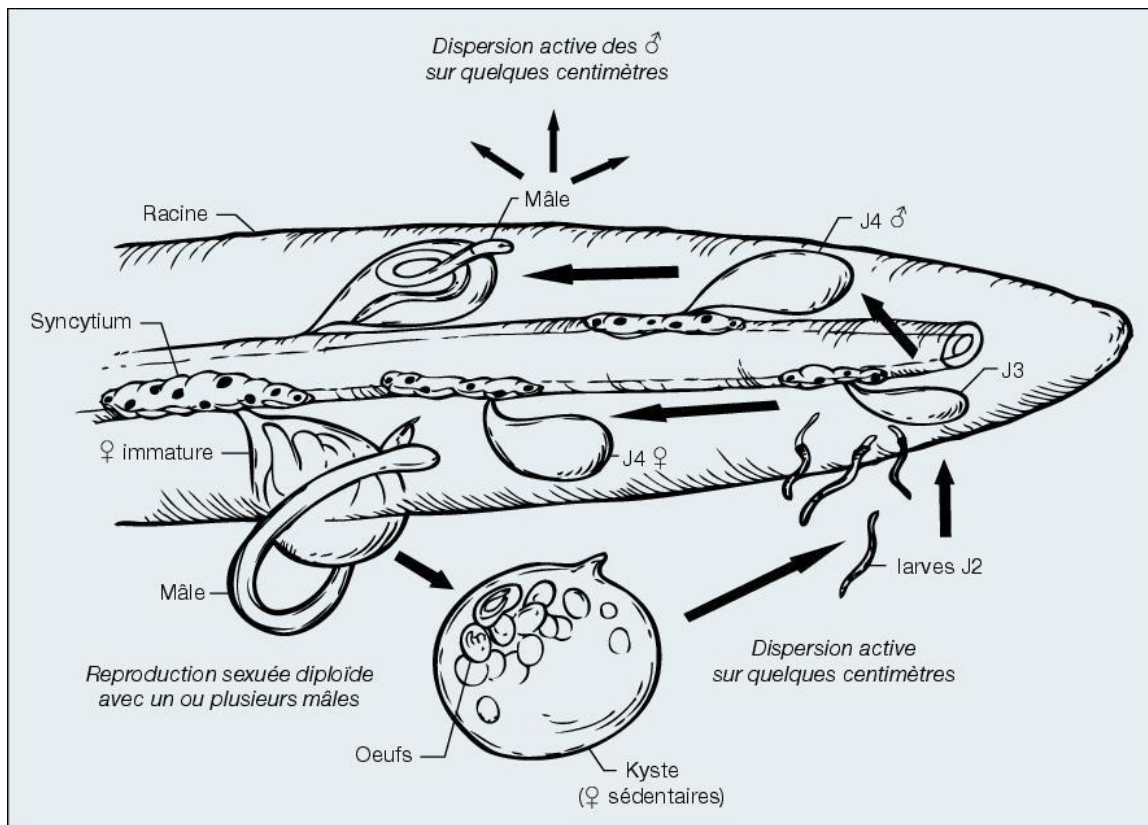


Figure 5. Cycle de développement de nématodes à kystes de la pomme de terre (Chauvin *et al.*, 2008).

II.4.2. Diapause

Les espèces de nématodes de pomme de terre du genre *Globodera* se caractérisent par une diapause des larves de deuxième stade contenues à l'intérieur du kyste. Cet état de repos ne sera levé que par l'effet de températures basses (Mugniéry *et al.*, 1996 ; Chauvin *et al.*,

2008). La période de diapause permet aux nématodes de synchroniser leur cycle de vie avec celui de leur hôte et d'augmenter leur taux de survie sous les conditions défavorables.

La diapause est généralement plus prononcée chez *Globodera rostochiensis* que chez *Globodera pallida* (Chauvin *et al.*, 2008).

II.5. Diversité des pathotypes

Différents pathotypes ont été distingués au sein de chaque espèce de *Globodera* selon leur capacité à se multiplier sur certains clones de *Solanum* à tubercules. L'espèce *Globodera rostochiensis* présente 5 pathotypes (Ro1-Ro5) et trois pathotypes sont identifiés chez *Globodera pallida* (Pa1-Pa3) (Kort *et al.*, 1977). Certains se reconnaissent par leur incapacité totale à se multiplier sur des cultivars de pommes de terre spécifiques (résistance monogénique). Par exemple, les cultivars résistants de pomme de terre portant le gène H1, identifié chez le clone *Solanum tuberosum* subsp. *andigena* et H2 chez le clone *Solanum multidissectum* sont résistants respectivement au Ro1/ Ro4 et au Pa1 uniquement (Tableau 1). D'autres pathotypes présentent différents niveaux de capacité à se multiplier sur différents cultivars.

Tableau 1. Développement de pathotypes (+) ou non (-) en présence des gènes de résistance H1 et H2 (Chauvain *et al.*, 2008)

| Espèces | <i>Globodera rostochiensis</i> | | <i>Globodera pallida</i> | |
|---------------------|--------------------------------|---------|--------------------------|-------|
| Pathotypes | Ro1/4 | Ro2/3/5 | Pa1 | Pa2/3 |
| Gènes de résistance | | | | |
| H1 | - | + | + | + |
| H2 | + | + | - | + |

II.6. Identification des espèces de *Globodera*

Diverses méthodes d'identification ; morphométrique de base, biochimique et moléculaire sont utilisées pour différencier les espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre ; *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*.

II.6.1. Identification morphométrique

Sur la base morphologique, l'identification des espèces de *Globodera* peut être complexe en raison de la variabilité des caractéristiques taxonomiques. Par conséquent, une combinaison des caractères morphologiques et morphométriques des kystes et des juvéniles de deuxième stade reste fiable pour une distinction spécifique (OEPP, 2017). Ces stades se retrouvent dans les extraits de sol et possèdent des caractéristiques utiles pour la discrimination morphologique et morphométrique des espèces (Moens *et al.*, 2018). De même, la couleur de la femelle au stade approprié du développement sur la racine de la plante hôte peut être utilisée comme une indication d'espèce ; la femelle de *Globodera rostochiensis* change durant la maturation du blanc au jaune puis un kyste brun, tandis que *Globodera pallida* passe directement du blanc au brun (OEPP, 2017).

II.6.1.1. Kystes

Les différences de diagnostic des espèces de *Globodera* les plus importantes se situent dans la région périnéale, notamment le nombre de stries circulaires entre l'anus et le fenestre vulvaire, la distance entre l'anus et le fenestre vulvaire, le diamètre de fenestre vulvaire et la ration de Granek (la distance entre l'anus et le fenestre vulvaire / le diamètre de fenestre vulvaire) (Fig. 6, 7) (Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991; Fleming et Powers, 1998; Manduric *et al.*, 2004; OEPP, 2013, 2017 ; Moens *et al.*, 2018). Le tableau 2 regroupe les caractéristiques prises en considération des deux espèces voisines *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis*. Les valeurs de la longueur et de la largeur des kystes peuvent être différentes entre les espèces *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* (Skantar *et al.*, 2007 ; OEPP, 2013 ; Douda *et al.*, 2014).

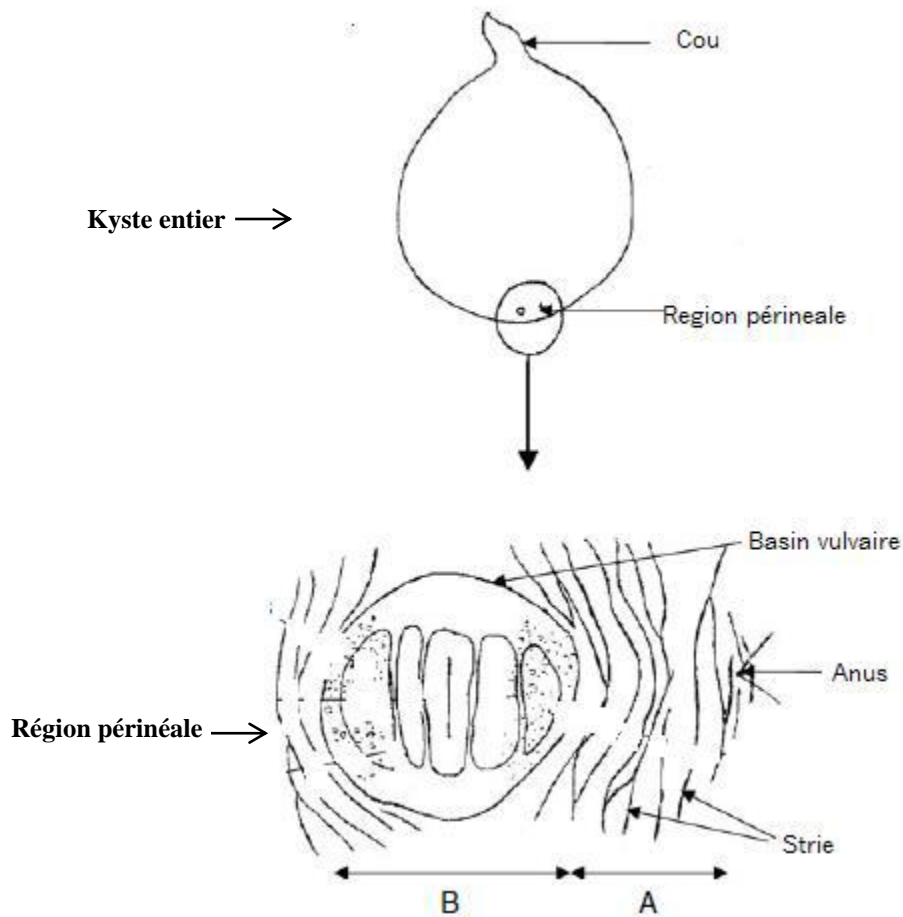


Figure 6. Région périnéale d'un kyste de nématode du genre *Globodera* et les critères utilisés pour l'identification morphométrique (Turner et Evans, 1998). **A:** Distance entre l'anus et le bassin vulvaire. **B:** Diamètre de bassin vulvaire (le fenestre vulvaire).

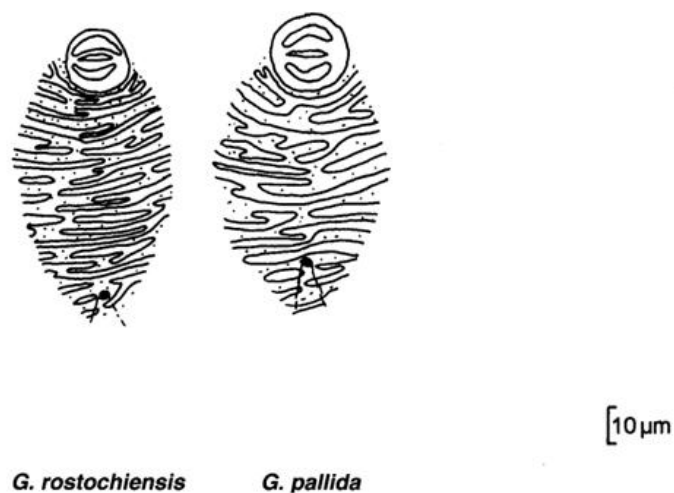


Figure 7. Stries de la région périnéale des kystes de *Globodera rostockiensis* et *Globodera pallida* (Fleming et Powers, 1998).

II.6.1.2. Juvéniles du deuxième stade

La longueur du stylet et la forme des boutons basaux du stylet sont les éléments les plus visibles qui distinguent entre les espèces *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* (Fig. 8, 9) (Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991; Fleming et Powers, 1998; Manduric *et al.*, 2004; OEPP, 2013, 2017 ; Moens *et al.*, 2018). De même, des variations sur d'autres critères ont été enregistrées entre les deux espèces de *Globodera*, tels que la largeur des boutons basaux du stylet, largeur maximale du corps (au milieu), largeur du corps au niveau de l'anus, longueur du corps, longueur de la queue, longueur de la partie hyaline de la queue, longueur du pharynx, distance entre l'extrémité de la tête et l'extrémité du lobe pharyngé, ainsi que les indices nématologiques tels que ; a (longueur du corps / largeur maximale du corps), b (longueur du corps / longueur du pharynx de la tête à la jonction pharyngéo-intestinale), b' (longueur du corps / longueur du pharynx de l'extrémité antérieure à l'extrémité postérieure du lobe glandulaire), c (longueur du corps / longueur de la queue) et c' (la longueur de la queue / largeur du corps au niveau de l'anus) (Skantar *et al.*, 2007 ; OEPP, 2013, 2017 ; Douda *et al.*, 2014 ; Moens *et al.*, 2018).

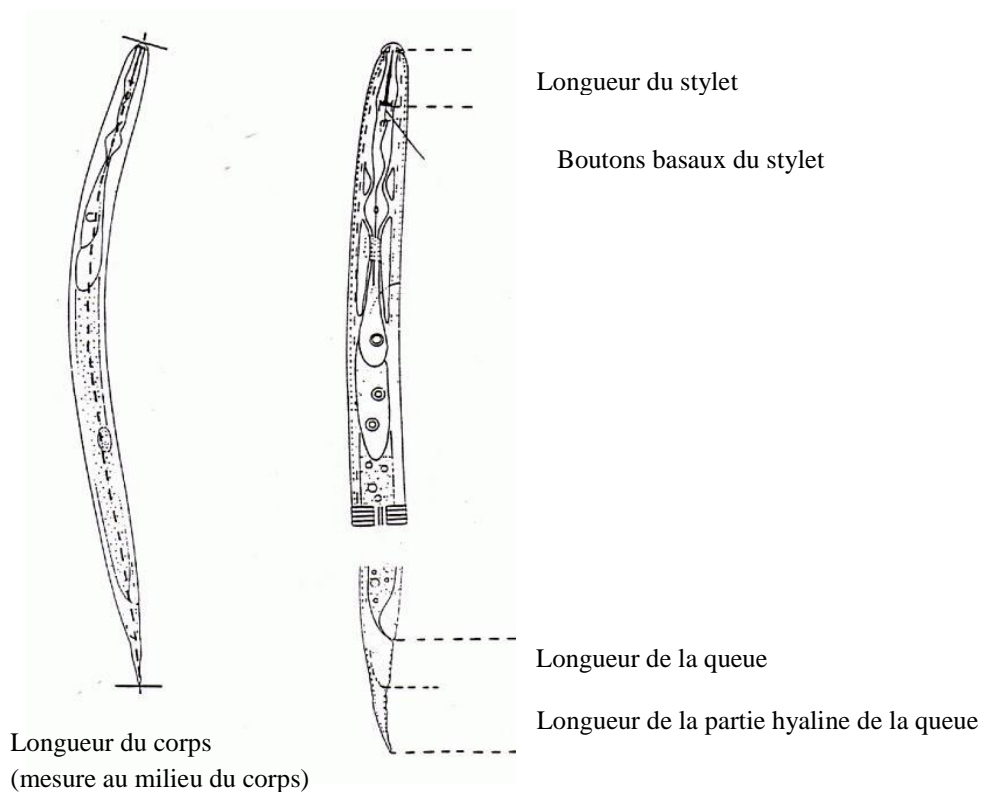


Figure 8. Caractères morphométriques des juvéniles du deuxième stade de *Globodera* sp.

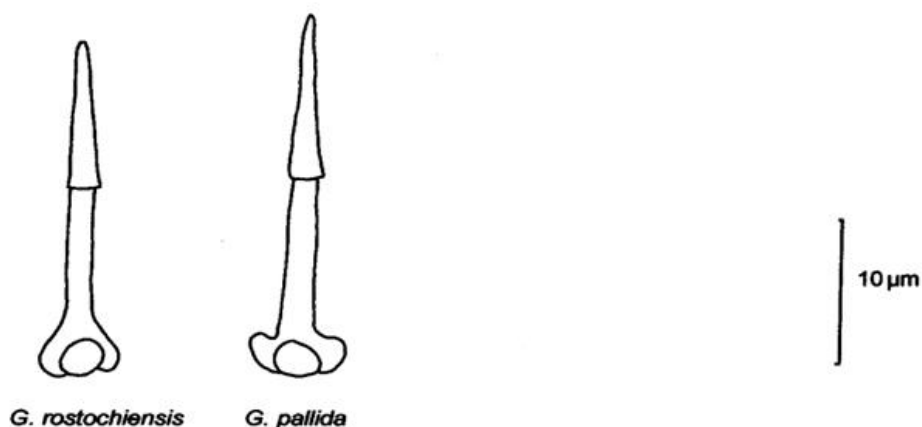


Figure 9. Forme des boutons basaux du stylet des juvéniles de deuxième stades de *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* (Fleming et Powers, 1998).

Tableau 2. Critères morphométriques des kystes et des juvéniles du deuxième stade pour le diagnostic des espèces *Globodera rostochiensis* et *Globoera pallida*. Les valeurs extrêmes (en μm) sont fournies avec les valeurs moyennes entre parenthèses (Fleming et Powers, 1998).

| Caractères | <i>Globodera rostochiensis</i> | <i>Globodera pallida</i> |
|--|--------------------------------|------------------------------------|
| Forme des boutons basaux du stylet | Surface antérieure arrondie | Surface antérieure plate à concave |
| Longueur du stylet | 21-23 (22) | 21-26 (>23) |
| Nombre de rides entre l'anus et le fenestre vulvaire | 12-31 (>14) | 8-20 (<14) |
| Diamètre de fenestre vulvaire | 8-20 (<19) | 8-21 (>19) |
| Distance entre l'anus et le fenestre vulvaire | 37-77 (>55) | 22-67 (<50) |
| Ration de Granek (la distance entre l'anus et le fenestre vulvaire / le diamètre de fenestre vulvaire) | 1,3-9,5 (>3) | 1,2-3,5 (<3) |

Les critères de différenciation morphologiques et biométriques des espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre ; *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* prennent beaucoup de temps et nécessite des compétences spécialisées en particulier dans le cas de mélanges d'espèces. De plus, l'intervalle de valeurs pour chacune des caractéristiques peut se chevaucher (Tableau 2) en raison des valeurs morphologiques souvent comparables de

ces espèces apparentées ce qui peut aboutir à une identification à élucider davantage. Cependant, l'identification rapide et fiable des espèces et des pathotypes constitue une importance majeure dans les stratégies de contrôle des nématodes à kystes de la pomme de terre. C'est pourquoi les recherches s'orientent de plus en plus vers des techniques rapides et plus sûres, basées en particulier sur le polymorphisme de l'ADN ou de ses produits d'expression ; protéines et isoenzymes (Marshall et Crawford, 1987 ; De Boer *et al.* 1992; Phillips *et al.*, 1992 ; Bossis et Mugniéry, 1993 ; Gonzalez *et al.*, 1995 ; Subbotin *et al.*, 1999 ; Fullaondo *et al.*, 2001). En conséquence, diverses méthodes alternatives ont été développées.

II.6.2. Identification biochimique

Nombreuses technique biochimiques ont été appliquées offrant un grand potentiel de différenciation entre les espèces de *Globodera*. L'application d'une sonde de diagnostic s'est révélée utile dans la séparation des nématodes *Globodera pallida* de *Globodera rostochiensis* (Marshall et Crawford, 1987). Une approche similaire avec deux sondes de diagnostic a été développée spécifique à *Globodera pallida* et a également différencié les deux espèces de *Globodera* (Burrows et Perry, 1988). La technique de la focalisation isoélectrique a été mise au point et peut être utilisée pour identifier *Globodera rostochiensis* de *Globodera pallida* (Fleming et Marks, 1982) et plus tard, elle est utilisée comme une technique de routine de diagnostic pour ces nématodes (Karssen *et al.*, 1995). Une électrophorèse unidimensionnelle des protéines sur un gel a été utilisée pour distinguer les espèces et les pathotypes de nématodes à kystes de la pomme de terre (Den Nijs et Lock, 1990). Une électrophorèse capillaire haute performance a discriminé les populations et les différents profils de protéines de pathotypes de *Globodera rostochiensis* (Ro1, Ro2 et Ro5) et de *Globodera pallida* (Pa1, Pa2 et Pa3) (Hinch *et al.*, 1998; Cunha *et al.*, 2002). Cependant, ces méthodes biochimiques fournissent des résultats précis et robustes uniquement au stade de développement particulier des nématodes, ce qui constitue toujours une limite majeure. De plus, l'influence de la préparation de l'échantillon et de son stockage sur les modèles de bandes a entraîné le remplacement de ces techniques par des méthodes plus sensibles basées sur l'acide désoxyribonucléique (l'ADN). En outre, les approches basées sur l'ADN sont indépendantes du stade de développement des nématodes et de l'influence de l'environnement (Subbotin *et al.*, 2013).

II.6.3. Identification moléculaire

L'analyse à base d'ADN a été proposée pour la première fois en 1985, mais pendant cette période la méthode prend beaucoup de temps, exige une quantité importante d'ADN (Bairwa *et al.*, 2017). Avec le développement des techniques de l'amplification de l'ADN notamment la réaction en chaîne par polymérase (PCR), les approches moléculaires constituent un outil de diagnostic puissant et largement utilisé dans l'identification des espèces de nématodes et autres. En raison de la quantité limitée d'ADN d'un seul nématode, la PCR semble être la plus appropriée pour la caractérisation des nématodes et permet la présentation de relations phylogéniques dans le genre *Globodera* (Thiéry et Mugniéry, 1996).

La PCR permet de dupliquer en un grand nombre une séquence d'ADN ou d'ARN connue (l'amplicon) en utilisant des amorces spécifiques constituées d'oligonucléotides. Les amorces développées se lient aux sites cibles sur chaque brin d'ADN et reproduire une région spécifique d'ADN pour séparer les deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre (Zouhar *et al.*, 2000). Le test de PCR a été appliqué avec succès dans l'identification de diverses populations de *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* (Shields *et al.*, 1996 ; Groza *et al.*, 2011).

Le cistron de l'ADN ribosomal (ADNr) représente la région génomique de l'ADN la plus ciblée pour le diagnostic des nématodes à kystes. Il est constitué de trois gènes codants d'ADNr (18S, 5.8S et 28S) séparés par deux régions non codantes, appelées des espaceurs internes transcrits 1 et 2 (ITS1 et ITS2). Ce cistron est répété et chaque répétition est reliée par l'espaceur non-transcrit (NTS) appelé également espaceur intergénique (IGS) (Waeyenberge, 2018). L'analyse de ces gènes et de ces parties est devenue un moyen privilégié pour l'identification des nématodes (Vrain *et al.*, 1992; Wendt *et al.*, 1993; Ferris *et al.*, 1993, 1994; Zijlstra *et al.*, 1995). Les deux espaceurs ITS1 et ITS2 évoluent plus rapidement et sont plus variables que les gènes codants. Par conséquent, ils sont utiles pour l'identification des nématodes au niveau des espèces et les études phylogénétiques (Waeyenberge, 2018).

Plusieurs chercheurs ont mis au point des analyses basées sur l'ADN pour différencier les deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre notamment les techniques associées à la PCR qui sont les outils de diagnostic les plus couramment utilisés.

II.6.3.1. PCR multiplexe

Le test PCR multiplexe consiste à amplifier dans une seule réaction deux segments d'ADN différents ou plus (ADN cibles) en utilisant différentes paires d'amorces pour chaque ADN cible (Lee et Zhang, 2007). Cette technique présente des avantages, tels que la rapidité et l'économie de réactifs.

Le test PCR multiplex a été développé par Bulman et Marshall (1997) en utilisant des kystes complets comme source d'acide nucléique. L'amplification du gène 18S et de la région interne transcrite ITS1 de l'ADN ribosomique par deux amorces spécifiques ; PITSr3 pour *Globodera rostochiensis* et PITSp4 pour *Globodera pallida* avec une amorce commune ITS5 a été appliquée avec succès dans l'identification des espèces *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* dans des populations pures et mixtes. Par la suite, cette technique a été adoptée par plusieurs chercheurs pour identifier les populations des nématodes à kystes de la pomme de terre (Ibrahim *et al.*, 2001; Bates *et al.*, 2002; Minnis *et al.*, 2002; Polypecynto *et al.*, 2005; Skantar *et al.*, 2007; Madani *et al.*, 2008; Grubišić *et al.*, 2013; Van de Vossenberg *et al.*, 2014 ; Camacho *et al.*, 2017 ; Özarslandan *et al.*, 2019). En outre, la PCR multiplex avec des amorces universelles a été utilisée pour identifier une population mixte de deux espèces de *Globodera* en Europe centrale (Douda *et al.*, 2014).

II.6.3.2. PCR quantitative

La PCR quantitative (QPCR) ou PCR en temps réel est une technique simple, permettant de mesurer la quantité d'ADN polymérisée à chaque cycle (temps réel). De plus, la QPCR mesure indirectement le nombre de nématodes en supposant que le nombre de copies d'ADN cible dans l'échantillon est proportionnel au nombre de nématodes ciblés (Madani *et al.*, 2005). Les informations quantitatives contenues dans une QPCR proviennent de ces quelques cycles (sur 40) où la quantité d'ADN croît de manière exponentielle au-dessus du seuil (Rasmussen, 1998). La QPCR permet un contrôle continu de l'amplification pendant la PCR en utilisant des sondes d'hybridation (TaqMan) ou des colorants double brin tels que SYBR Green et EVA Green. Avec cette technique, l'augmentation du signal de fluorescence apparaît sur l'écran de l'ordinateur et peut être comparé à un standard avec des quantités connues de l'ADN. Ces données peuvent être utilisées pour quantifier les échantillons (Kingsnorth *et al.*, 2003).

Les techniques de QPCR sont largement appliquées dans divers pays. Le test PCR en temps réel avec le colorant SYBR Green a été développé pour la détection et la quantification des nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera pallida* et de la betterave *Heterodera schachtii* (Madani *et al.*, 2005). Une technique similaire a été appliquée pour identifier les populations de nématode de pomme de terre *Globodera rostochiensis* (Bačić *et al.*, 2008). Toyota *et al.* (2008), ont mis au point une méthode de PCR en temps réel pour la détection et la quantification des espèces *Globodera rostochiensis* et *Meloidogyne incognita* à partir de communautés de nématodes mixtes. Des stratégies de QPCR avec le colorant EVA Green et la technologie TaqMan ont été évaluées pour différencier les espèces *Globodera pallida*, *Globodera rostochiensis* et *Globodera tabacum* (Madani *et al.*, 2008). Cette stratégie a été testée avec succès par Quader *et al.* (2008) pour caractériser les populations de *Globodera rostochiensis*. Une PCR en temps réel avec des sondes TaqMan a été réalisée pour identifier les nématodes parasites des plantes ; *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida* et *Globodera artemisiae* (Nowaczyk *et al.*, 2008 ; Nakhla *et al.*, 2010). Récemment, une approche de détection de deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre par la PCR multiplex en temps réel à l'aide d'un système basé sur une puce à ADN a été décrite (Nikitin *et al.*, 2017).

II.6.3.3. PCR-RFLP

Le polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP) repose sur la digestion d'un ADN cible par une ou plusieurs enzymes de restriction spécifiques des sites de restriction portés par l'ADN.

La combinaison de la PCR et du RFLP constitue une méthode fiable pour différencier les nématodes à kystes de la pomme de terre, *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* (Fleming et Powers, 1998). Cette approche a été utilisée également pour distinguer *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida* et *Globodera tabacum* (Thiéry et Mugniéry, 1996; Fleming *et al.*, 2000; Skantar *et al.*, 2007 ; Sirca *et al.*, 2010) et pour séparer *Globodera rostochiensis* de *Globodera achilleae* (Širca et Urek, 2004).

II.7. Modes de dissémination

Les activités humaines (le matériel agricole, les sabots des animaux, les chaussures des travailleurs, ou bien encore par les eaux d'irrigation) constituent des facteurs de dissémination des kystes de nématodes. Le vent contribue également à la dissémination des

kystes. Mais le mode principal de dispersion se fait au cours des importations et exportations de plantes ou de tubercules contaminés (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.8. Gamme d'hôtes

Les deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre sont des parasites obligatoires de certaines plantes de la famille des Solanacées (oligophages). La pomme de terre *Solanum* sp. est l'hôte principal, suivi de la tomate *Solanum lycopersicum* L. et de l'aubergine *Solanum melongena* L.. Au total, 90 espèces environ du genre *Solanum* sont reconnues comme étant des hôtes de ces ravageurs (Bélaïr, 2005). Parmi ces espèces il y'a des adventices, tel la douce-amère *Solanum dulcamara* (Schneider et Mugniéry, 1971).

Cette spécificité est essentiellement due aux exsudats radiculaires des Solanacées qui entraînent une éclosion massive et rapide des larves infestantes situées dans les kystes. L'importance de cette éclosion varie énormément avec la plante hôte. Avec la pomme de terre, elle est de l'ordre de 80% à 90% et seulement de 5% en présence de l'aubergine (Mugniéry *et al.*, 1996).

II.9. Symptômes et dégâts

Les symptômes d'attaque des nématodes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* sur les plantes de pomme de terre sont variés et ne sont pas spécifiques, car ils peuvent être provoqués par de nombreuses autres causes tels que stress hydrique, carence minérale ou excès de désherbant (Mugniéry *et al.*, 1996). La seule preuve incontestable d'une attaque du nématode est la mise en évidence de kystes dans le sol ou bien sur les racines (Fig.10 A) (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.9.1. Au champ

Les symptômes induits par ces nématodes se traduisent généralement par de larges plages circulaires à végétation très faible (Mugniéry *et al.*, 1996). Les plantes attaquées sont petites et chétives (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.9.2. Sur les feuilles

Les attaques de ces parasites se traduisent par une coloration pâle des feuilles. Les feuilles inférieures s'enroulent, se flétrissent et finissent par se dessécher. Par la suite, les plantes meurent prématurément (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.9.3. Sur les racines

Le système racinaire montre un aspect de ramification anormal et les radicelles sont courtes et détruites à la pointe. Par la suite, les racines attaquées peuvent être détruites. Une réduction de la taille et du nombre de tubercules sont les résultats des infestations (Schneider et Mugniéry, 1971). Une détérioration de la qualité du tubercule est notée suite aux piqûres de nématode sur la surface des tubercules (Fig.10 B) (Chauvin *et al.*, 2008).

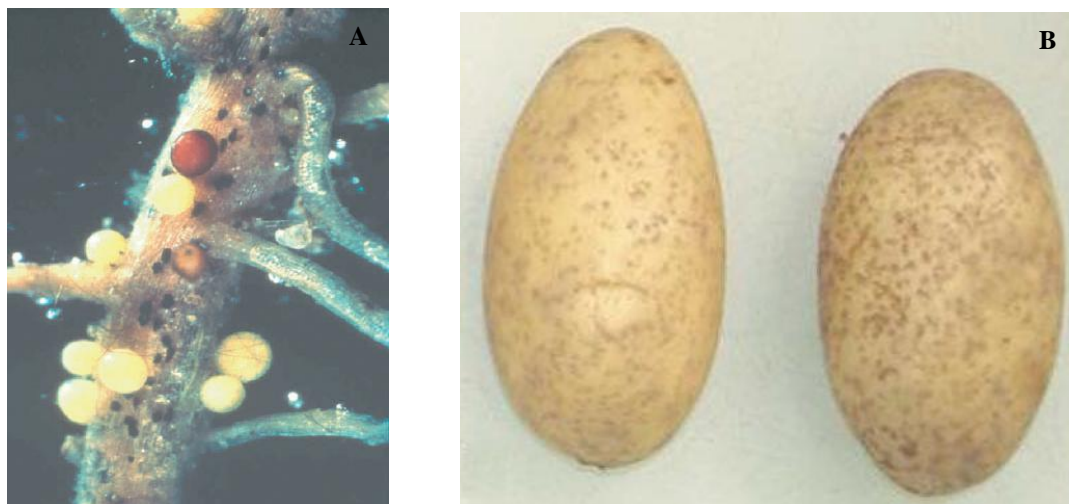


Figure 10. Symptômes causés par les nématodes *Globodera* sp. sur la pomme de terre ; A : femelles et kystes de *Globodera rostochiensis* (OEPP, 2017), B : sur tubercule (Chauvin *et al.*, 2008).

Les attaques des nématodes à kystes du genre *Globodera* sur la pomme de terre sont souvent associées par des pertes considérables de rendement en quantité et en qualité ce qui justifie leur classification en parasites de quarantaine. Un taux de 9% de la production totale de pommes de terre dans le monde a été rapporté comme perte à cause de ces parasites (Turner et Subbotin, 2013). Les coûts des pertes annuels engendrées par les nématodes de pomme de terre ont été estimés 440 millions d'euros dans l'Union Européenne (Ryan *et al.*, 2000) et 37 millions de dollars en Australie (Hodda et Cook, 2009). L'impact économique des nématodes peut être élevé non seulement en raison des pertes de rendement, mais aussi des dépenses entraînées dans le cadre des interventions de lutte.

L'impact de ces nématodes sur la production de la pomme de terre est évalué dans quelques régions du monde. Au Chili, Greco et Moreno (1992) rapportent une perte à la récolte de pomme de terre causée par *Globodera rostochiensis* allant jusqu'à 70%. Ce nématode, est considéré comme un bioagresseur redoutable sur la pomme de terre et peut causer des pertes

de rendements pouvant atteindre 80%, cas de la Bulgarie (Trifonova, 2000). En France, *Globodera pallida* entraîne une baisse de production de pomme de terre de l'ordre de 50% et les tubercules sont peu commercialisables à cause de la détérioration de leur qualité suite aux piqûres des nématodes (Chauvin *et al.*, 2008). Enfin, en Australie, l'infestation par *Globodera* sp. peut réduire la production de la pomme de terre jusqu'à 80% (Singh *et al.*, 2013).

L'importance des dégâts causés par les nématodes dépend d'un grand nombre de facteurs ; leur nombre, la virulence de l'espèce ou de la souche, la résistance ou la tolérance de la plante hôte. D'autres facteurs sont également aggravants comme le climat, la disponibilité en eau, le type de sol et la présence d'autres maladies et ravageurs (Coyne, 2010). L'installation du nématode est sous l'égide des conditions environnementales.

II.10. Facteurs influant sur le développement des nématodes

Le développement des nématodes *Globodera* sp. est conditionné par de nombreux facteurs biotiques et abiotiques.

II.10.1. Facteurs biotiques

Les nématodes à kystes de la pomme de terre ne se multiplient qu'en présence de plantes hôtes appartenant à la famille des Solanacées. Des substances exsudées par les racines de ces plantes entraînent une éclosion massive et rapide des larves infestantes situées dans les kystes, et les formes juvéniles sortent et envahissent les racines. L'attraction des larves par les racines ne s'observe pas avec des plantes autres que des Solanacées (Mugniéry *et al.*, 1996).

Le système de culture contribue également au développement des nématodes de pomme de terre *Globodera* sp.. La monoculture favorise la pullulation. Par contre, la rotation des cultures avec des plantes non hôtes limite et retarde l'augmentation des niveaux des populations (Mugniéry, 1982).

II.10.2. Facteurs abiotiques

II.10.2.1. Climat

II.10.2.1.1. Température

Les basses températures stimulent l'éclosion des larves. Ces dernières éclosent que si la température du sol dépasse 7°C. L'optimum pour leur sortie des kystes se situe autour de 15°C et 20°C (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.10.2.1.2. Humidité

L'humidité du sol contrôle le mouvement des larves infestantes. Après leur émergence des kystes, elles se déplacent dans un film d'eau retenu par le sol pour pénétrer facilement dans les racines de la plante hôte (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.10.2.2. Sol

II.10.2.2.1. Type de sol

La texture et la structure de sol présentent un rôle considérable dans le développement des nématodes du genre *Globodera*. Les attaques de ce groupe de nématodes sont plus sévères dans les sols légers et poreux qui favorisent davantage la présence des nématodes. Plus les pores de très grande taille seront rares, ou au contraire plus les pores de très petites tailles seront nombreux, et plus les larves ont des difficultés d'acheminer vers les racines (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.10.2.2.2. Aération du sol

Si la quantité d'oxygène disponible dans le sol est plus élevée, l'éclosion des larves et leur migration vers les racines sont rapides, inversement à cet état leurs mouvements et leur infestation sont réduits. L'aération du sol est directement liée à la quantité d'eau qu'il contient, et donc à la taille des pores (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.11. Méthodes de lutte

La lutte contre les nématodes à kystes est difficile pour de nombreuses raisons ; taux de multiplication élevé du parasite, dispersion et longévité des kystes dans le sol, dissémination facile, le mode de vie souterrain, la forme de survie en kystes et leurs caractères physiologiques, qui rendent insensibles à beaucoup de substances toxiques (Schneider et Mugniéry, 1971). Un ensemble de mesures préventives et curatives est pratiqué ou en cours de mise au point a pour but de détecter la présence du parasite, d'éviter sa dissémination et de réduire ou de maintenir les populations en-dessous des seuils économiques nuisibles (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Viaene *et al.*, 2006).

II.11.1. Mesures préventives

Elles ont pour but de limiter la propagation du parasite et d'éliminer les sources possibles de contamination. Elles se font par le contrôle des produits végétaux importés pour

éviter l'introduction de nouvelles populations sur un territoire (Schneider et Mugniéry, 1971, Blanchard, 2006), le nettoyage des outils agricoles pour éviter les contaminations inter parcelles (Mugniéry *et al.*, 1996 ; Blanchard, 2006) et l'interdiction de la culture de pomme de terre de semence dans les parcelles infestées (Schneider et Mugniéry, 1971).

La sensibilisation et la vulgarisation au profit des agricultures par la collaboration des différentes institutions et l'utilisation des différents moyens de vulgarisation pour mieux gérer l'infestation des parcelles de pomme de terre dans l'espace et dans le temps .

Toutes ces mesures réduisent le danger de fortes infestations, mais restent insuffisantes pour arrêter complètement la dissémination du parasite (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.11.2. Mesures curatives

Elles sont d'ordre cultural, chimique, génétique et biologique. L'objectif est la réduction des populations de nématodes en zones de consommation et leur élimination en zones de plants (Mugniéry *et al.*, 1996).

II.11.2.1. Méthodes culturales

II.11.2.1.1. Désherbage

La destruction des débris des plantes atteintes et l'élimination des repousses est une nécessité car ceux-ci permettent le maintien des populations du sol. L'élimination des repousses empêche le cycle de s'accomplir (Mugniéry *et al.*, 1996).

II.11.2.1.2. Jachère

La jachère joue un rôle important dans la réduction du parasite. L'effet de jachère estivale en Algérie agit en éliminant de 50% les larves localisées à l'intérieur des kystes (Mugniéry et Zaouchi ,1973).

II.11.2.1.3. Plantes pièges

La technique des plantes pièges consiste à provoquer l'éclosion tout en empêchant la multiplication des larves (piéger les larves dans la plante) (Duvauchelle, 2013). La pomme de terre est utilisée en culture piège. Le principe est de planter la pomme de terre et la détruire avant la fin du cycle des nématodes (Scholte et Vos, 2000) ; cela permet l'éclosion sans formation de nouveaux kystes. Dans l'ouest de la France, les cultures-pièges de pomme de

terre conduisent à des réductions annuelles de l'ordre de 80 % des populations de *Globodera pallida* (Mugniéry *et al.*, 1984).

La morelle de Balbis, *Solanum sisymbriifolium* est également utilisée. Les exsudats racinaires de cette Solanacée non tubéreuse font l'éclosion, mais les larves ne peuvent pas se nourrir sur ses racines car elles présentent une résistance plus complète (aucune multiplication). Cette plante permet de réduire de 50 à 80% des populations des nématodes à kystes de la pomme de terre aux Pays-Bas et Grande-Bretagne (Duvauchelle, 2013).

II.11.2.1.4. Rotations culturales

La rotation des cultures a pour but d'introduire dans le système cultural des espèces ou des variétés qui limitent les nématodes. Ces espèces ou variétés sont non hôtes ou résistantes. L'efficacité de cette technique est due essentiellement à la gamme d'hôte restreinte de nématodes à kystes de la pomme de terre (Mugniery et Oger, 1982) et a été démontrée puisque les densités de ces bioagresseurs peuvent être diminuées de 30 à 40% en une seule culture annuelle de plantes non hôtes, autre que les Solanacées (Schneider et Mugniéry, 1971).

Les rotations étalées dans le temps sont préconisées à cause de la très longue persistance des kystes dans le sol. Selon Bélair (2005), le retour en pomme de terre et autres plantes hôtes dans les champs infestés sont préconisés seulement après une période de 5 à 10 ans de rotation.

II.11.2.2. Méthodes chimiques

Les traitements chimiques du sol sont efficaces, occasionnant une mortalité de 80% environ des populations de nématodes à kystes de la pomme de terre (Schneider et Mugniéry, 1971). Cependant, leur utilisation reste limitée ou interdite en raison du coût élevé des produits disponibles et des conséquences environnementales (Alan et Susan, 1998 ; Evans *et al.*, 2002) dues à une forte toxicité pour l'environnement. Ainsi la durée d'action est en générale limitée et l'effet du produit diminue progressivement après l'application.

Les nématicides fréquemment utilisables sont des traitements à action de contact à base des organophosphorés qui sont utilisés à la plantation et des fumigants agissant par leur vapeur toxique diffusés sous forme gazeuse dans un sol nu à l'aide d'un pal injecteur (Schneider et Mugniéry, 1971) ou à action systémique à base des carbamates agissant sur les juvéniles infestantes, pratiqués à la plantation de pomme de terre (Mugniéry *et al.*, 1996). La lutte par

les carbamates nécessite une connaissance parfaite des périodes d'émergence des juvéniles, pour assurer la synchronisation de l'application des produits avec la présence des stades infectieux dans le sol et dans les plantes car leur durée d'efficacité est relativement courte.

II.11.2.3. Méthode génétique

Les variétés de pomme de terre résistantes peuvent être considérées comme des plantes pièges de nématodes à kystes *Globodera* sp.. Leurs exsudats provoquent l'éclosion des juvéniles. Ces dernières pénètrent dans les racines mais leur développement en femelles y est impossible : ils ressortent des racines, meurent ou deviennent des mâles (Mugniéry *et al.*, 1996).

Depuis plusieurs décennies (1941), des recherches ont été entreprises dans le domaine de la résistance variétale afin de contrôler ces nématodes. Il a été établi, qu'aucune des variétés cultivées de pomme de terre ne possède pas le caractère de résistance, ce qui impose de le rechercher chez divers *Solanum* sauvages (*Solanum andigenum*, *Solanum vernei*, *Solanum kurtzianum*, *Solanum multidissectum*) et de le faire passer par hybridation sur la pomme de terre (Schneider et Mugniéry, 1971).

Un gène de résistance dominant H1, a été identifié chez le clone C.P.C. 1673 de *Solanum andigenum* (Ellenby, 1954). Il induit une résistance totale par hypersensibilité, caractérisée par une nécrose localisée autour du nématode et un épaississement des parois avec accumulation de lignines. Il est actif contre *Globodera rostochiensis* mais pas pour *Globodera pallida*. A l'égard de *Globodera pallida*, un gène de résistance totale H2 a été détecté chez *Solanum multidissectum*. Il n'est actif que vis-à-vis du pathotype Pa1 présent en Irlande (Mugniéry *et al.*, 1996). Par la suite, de nombreuses sources de résistance ont été signalées (Phillips, 1994). Actuellement, le caractère de résistance a été introduit par sélection classique dans un grand nombre de variétés cultivées de pomme de terre (Finkers-Tomczak, 2011).

La culture de variétés de pomme de terre résistantes constitue une méthode de lutte prometteuse et économique contre les nématodes à kystes *Globodera* sp., induisant une diminution de population infestantes de l'ordre de 70 à 80% (Schneider et Mugniéry, 1971, Chauvin *et al.*, 2008).

Cependant, l'utilisation des variétés résistantes présente certaines limites. En effet, les sources de résistances utilisées présentent souvent une grande spécificité et sont efficaces que contre une espèce, voire une population. C'est le cas notamment du gène de résistance H1 de la

pomme de terre qui permet de contrôler que les populations de *Globodera rostochiensis* de pathotype Ro1/4. Contre les autres pathotypes de *Globodera rostochiensis* ou *Globodera pallida*, seules des résistances partielles ont été identifiées. En conséquence, il existe des variétés commerciales résistantes à *Globodera rostochiensis*, mais le cas de *Globodera pallida* est plus compliqué dans la mesure où il existe que peu de variétés résistantes (Chauvin *et al.*, 2008).

L'utilisation des sources de résistance nécessite de s'assurer de leur durabilité dans le temps. Des cas de contournement de gènes de résistance utilisés contre *Globodera rostochiensis* (H1) ont été recensés (Huijsman, 1961). Le risque principal lié à ces phénomènes est l'appauvrissement rapide des ressources génétiques disponibles. En effet, chaque évènement de ce type ne permettrait plus d'utiliser les résistances dont nous disposons pour lutter contre les nématodes. De plus les contournements des résistances favorisent la sélection de populations de nématodes de plus en plus virulentes (Blanchard, 2006 ; Chauvin *et al.*, 2008).

Une autre limite de l'utilisation de variétés de plantes résistantes est le risque de modification de l'équilibre des populations dans le sol ce qui ne ferait que transférer le problème. C'est le cas notamment de l'utilisation intensive du gène H1 aux Pays Bas, efficace contre une population de *Globodera rostochiensis*, qui a été utilisé durant dix années consécutives et qui a permis de réduire le niveau d'infestation par ce nématode, mais en contre partie, les populations de *Globodera pallida* initialement présentes en faible proportion dans le sol, se sont développées (Blanchard, 2006 ; Chauvin *et al.*, 2008).

II.11.2.4. Méthodes biologiques

La lutte biologique est basée sur l'utilisation des micro-organismes comme les champignons prédateurs telles que *Botryotrichum piluliferum*, *Scolecobasidium constrictum*, *Gliocladium roseum* et *Phoma fineti* qui parasitent les œufs de *Globodera rostochiensis* (Trifonova et Karadjova, 2003) ou *Pochonia chlamydosporia* et *Pochonia foshiazate* qui affectent le taux de multiplication des nématodes *Globodera* sp. (Tobin *et al.*, 2008), et les bactéries telles que *Penicillium anotolicum*, réduisent fortement les populations de *Globodera rostochiensis* (Bélaïr, 2005). Tobin *et al.*, (2008) rapportent que *Pochonia chlamydosporia* réduit de 48% à 51% la multiplication des populations de *Globodera* sp.

Ces méthodes semblent parfois efficaces au laboratoire et en milieu clos (sous serre), elles paraissent difficilement réalisables au champ du fait de la présence d'antagonistes potentiels dans l'environnement (Blanchard, 2006). En Algérie, ces moyens ne sont appliqués qu'à l'échelle expérimentale.

II.11.2.5. Lutte intégrée

Aucune des méthodes de lutte applicable n'étant entièrement satisfaisante, et l'éradication totale du parasite étant pratiquement impossible (Schneider et Mugniéry, 1971). Des systèmes de lutte intégrée peuvent être plus efficaces en prenant en considération les spécificités de chaque région ainsi que les caractéristiques biologiques et écologiques des espèces ; *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. Ces pratiques reposent essentiellement sur l'intégration de diverses méthodes (Schneider et Mugniéry, 1971 ; Mugniery et Madeleine, 1982 ; Phillips, 1989) pour maintenir les populations en dessous du seuil de nuisibilité.

DEUXIEME PARTIE

Analyse expérimentale

PREMIER CHAPITRE

Etat des infestations et biogéographie des nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera* en Algérie

PREMIER CHAPITRE

Etat des infestations et biogéographie des nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera* en Algérie

Les nématodes à kystes, *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*, sont considérés parmi les principaux parasites de la pomme de terre et causent souvent des pertes conséquentes au rendement allant jusqu'à 80% (Brodie, 2001 ; Mwangi *et al.*, 2015). Ces ravageurs sont largement répandus dans le monde (Grenier et Mimee, 2017). En Algérie, ils ont été signalés pour la première fois à Alger par Frézal (1954) et par Scotto La Massese (1961). Depuis, plusieurs investigations sur leur expansion ont été réalisées sur ces bioagresseurs et ont confirmé leur présence dans diverses régions à vocation pomme de terre telles qu'Ain Defla, Tipaza, Chlef, Mascara et Sétif (INPV, 2009).

Les dégâts et l'extension des nématodes *Globodera* sp. sur la pomme de terre et le manque des informations sur leur répartition à travers les divers étages bioclimatiques nous ont incités à développer une étude sur leur distribution dans les principales zones de culture de pomme de terre en Algérie. Les principaux objectifs retenus de cette étude se résument comme suit :

- Evaluation de niveau d'infestation de diverses parcelles de pomme de terre par les nématodes à kystes du genre *Globodera* dans les régions productrices et identifier les facteurs explicatifs de leurs présences dans les parcelles.

- Tirer des renseignements fiables sur la répartition de ces parasites de quarantaine dans quelques régions potentielles de la production de pomme de terre en Algérie afin d'établir une cartographie de leur distribution et proposer des stratégies d'intervention prometteuses.

I.1. Matériels et méthodes

I.1.1. Choix des sites d'étude

Sur la base des données recueillies par les services agricoles et sur des prospections préalables conduites au terrain, 21 régions potentielles de la pomme de terre ont été

retenues. Six sont localisées au Centre (Tipaza, Ain Defla, Blida, Alger, Boumerdes et Bouira), six à l'Ouest (Chlef, Relizane, Mostaganem, Mascara, Tlemcen et Tiaret), six à l'Est (Mila, Guelma, Souk Ahras, Tébessa, Sétif et Skikda) et trois au Sud (El Oued, Djelfa et Biskra) (Fig. 11). Localisation et coordonnées géographiques des régions prospectées sont regroupés dans le tableau 3.

Au niveau de chaque région retenue, des visites régulières ont été effectuées dans diverses parcelles représentatives de la pomme de terre situées dans différentes localités productrices à raison de 3 à 6 parcelles par localité.

En ce qui concerne le choix des parcelles, il a été effectué en fonction de la culture mise en place. Les parcelles de production de la pomme de terre de consommation ont été prises en considération.

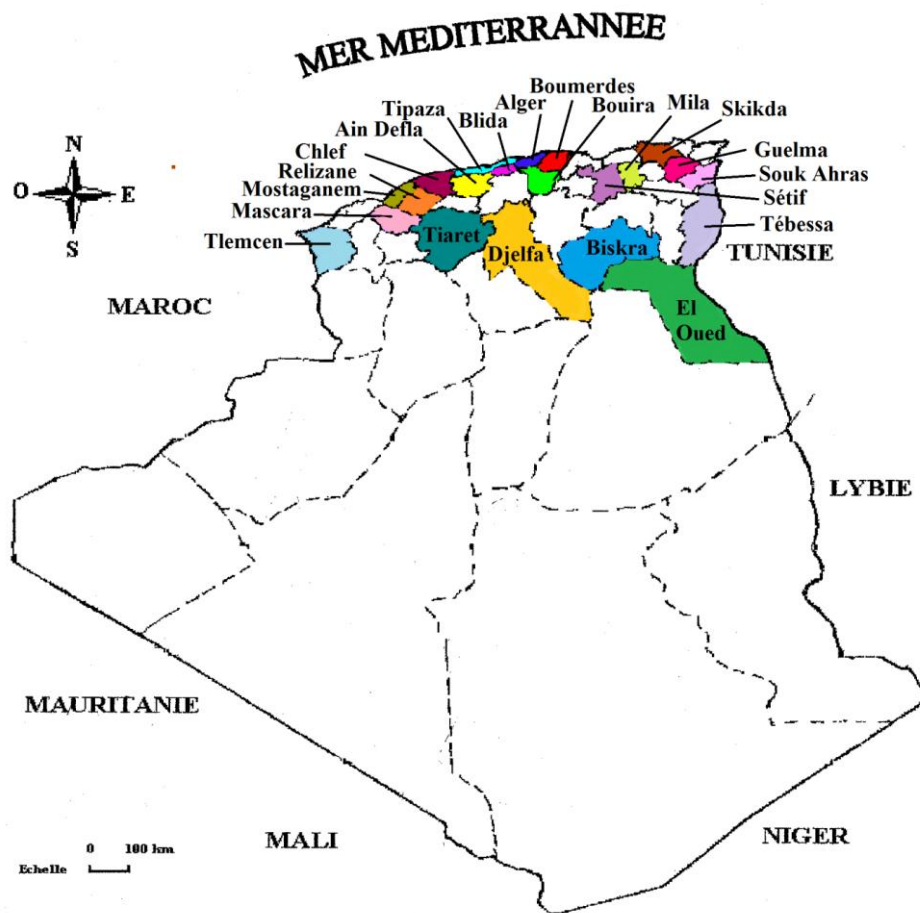


Figure 11. Localisation des sites d'étude (Originale).

Tableau 3. Localisation et coordonnées géographiques des régions prospectées.

| Partie de l'Algérie | Région | Latitude | Longitude | Altitudes (m) | Etage bioclimatique * |
|---------------------|------------|---------------|--------------|---------------|-----------------------|
| Centre | Tipaza | 36°35'22" N | 2°26'50" E | 32 | Sub-humide |
| | Ain Defla | 36°15'50" N | 1°58'04" E | 264 | Semi-aride |
| | Blida | 36°28'12" N | 2°49'39" E | 256 | Sub-humide |
| | Alger | 36°35'22" N | 2°26'50" E | 32 | Sub-humide |
| | Boumerdes | 36°45'08" N | 3°02'31" E | 186 | Sub-humide |
| | Bouira | 36°22'29" N | 3°54'07" E | 519 | Semi-aride |
| Ouest | Chlef | 36°09'54" N | 1°20'04" E | 116 | Sub-humide |
| | Relizane | 35°44'14" N | 0°33'21" E | 98 | Semi-aride |
| | Mostaganem | 35°55'52" N | 0°05'21" E | 102 | Sub-humide |
| | Mascara | 35°23'47" N | 0°08'24" E | 590 | Semi-aride |
| | Tlemcen | 34°52'41" N | 1°18'53" O | 811 | Sub-humide |
| | Tiaret | 35° 23' 16" N | 1° 19' 22" E | 1080 | Semi-aride |
| Est | Mila | 36°27'01" N | 6°15'51" E | 470 | Sub-humide |
| | Guelma | 36°27'43" N | 7°25'33" E | 305 | Semi-aride |
| | Souk Ahras | 36°17'11" N | 7°57'03" E | 697 | Sub-humide |
| | Tébessa | 35°24'15" N | 8°07'27" E | 867 | Semi-aride |
| | Sétif | 36°11'28" N | 5°24'49" E | 1096 | Semi-aride |
| | Skikda | 36° 52' 0" N | 6° 54' 0" E | 18 | Sub-humide |
| Sud | Djelfa | 34°40'22" N | 3°15'46" E | 1138 | Semi-aride |
| | Biskra | 34°51'01" N | 5°43'40" E | 115 | Aride |
| | El Oued | 33°21'21" N | 6°51'47" E | 84 | Aride |

*: <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Media>

I.1.2. Méthodologie adoptée

I.1.2.1. Analyse nématologique

Les symptômes des attaques de nématodes phytophages sur la partie aérienne des plantes sont peu spécifiques et se traduisent par des décolorations, un jaunissement du feuillage et un ralentissement de la croissance de la plante attaquée (Chabert *et al.*, 2012). Ces symptômes peuvent être attribués à d'autres attaques parasitaires ou des problèmes liés

à la culture, ce qui rend le diagnostic complexe. Pour cela, l'analyse nématologique s'avère une nécessité pour déceler ces organismes et leur niveau d'infestation.

Afin d'estimer la densité d'une population de nématode présente dans le sol, trois principales étapes sont essentielles : L'échantillonnage de sol, l'extraction des nématodes et leur comptage (Merny et Luc, 1996).

I.1.2.1.1. Echantillonnage de sol

Des quantités représentatives de sol ont été considérées au cours de la période allant de Mars 2014 à Juin 2018 dans 420 parcelles de la pomme de terre situées dans 123 localités représentatives des sites d'étude (Annexe 4).

L'échantillonnage de sol est effectué en sol nu après la récolte de la pomme de terre. Pour le prélèvement de sol, on a procédé par la limitation de la surface d'échantillonnage d'une superficie d'un hectare dans la parcelle prospectée (cas des parcelles de grandes surfaces).

Du fait de la répartition très hétérogène des nématodes dans le sol d'une manière verticale qu'horizontale (Schneider et Mygnière, 1971), et dans le but de faire un échantillonnage représentatif, les prélèvements sont effectués à l'aide d'une binette à des profondeurs comprises entre 10 à 30 cm (zone de développement racinaire) (Merny et Luc, 1996) dans différents endroits selon les deux diagonales dans la parcelle pour représenter la totalité de la superficie (Coyne *et al.*, 2010), à raison de 60 échantillons élémentaires de 40 à 50 g. Une distance systématique de 2 à 3 m sépare les échantillons élémentaires. Les échantillons élémentaires sont rassemblés en un échantillon global représentatif (Merny et Luc, 1996) à raison de 2,5 à 3 kg dans un sac en matière plastique fermé hermétiquement. Ce dernier est muni d'une fiche de renseignements indiquant la date du prélèvement, le lieu d'échantillonnage, le numéro de la parcelle, la variété utilisée, les précédents culturaux sur quatre dernières années, le mode d'irrigation ainsi que toutes les informations susceptibles d'expliquer l'importance de l'infestation par ces nématodes (Annexe 5). Ces informations ont été obtenues à travers l'enquête effectuée auprès l'agriculteur.

L'échantillon global de sol est alors acheminé au laboratoire. Ensuite, le sol est mis au séchage à l'ombre, il est étalé sur un papier dans un endroit bien aéré, en le retournant de temps à autre pour faciliter l'évaporation progressive de l'humidité. Le séchage dur 3 à 4 jours environ.

Après le séchage, le sol est précédé par une élimination des cailloux et des gros débris végétaux, et une réduction des mottes. Enfin, le sol séché est homogénéisé soigneusement et pesé à l'aide d'une balance de précision. Nous considérons 1kg par échantillon.

I.1.2.1.2. Extraction des kystes

I.1.2.1.2.1. Principe

Dans le but d'isoler les kystes de *Globodera* du sol, nous avons procédé à la méthode classique décrite par Fenwick (1940), qui est basée essentiellement sur la densité des kystes par rapport à celle de l'eau. La densité des kystes varie avec leur contenu (nombre d'œufs et de larves) et leur état d'humidité. Les kystes pleins de *Globodera* ont une densité inférieure à 1,18. En revanche, les kystes vides quel que soit leur taux d'humidité ont une densité égale ou inférieure à 1. Les kystes secs (pleins et vides) ont une densité inférieure à 1. Ainsi, les kystes pleins et humides sédimentent rapidement alors que les kystes secs flottent à la surface de l'eau, ce qui permet de les récupérer (Nakachia et Jacquemont, 1971).

L'extraction des kystes a été effectuée grâce à l'appareil de Fenwick qui est un grand récipient métallique de forme conique (le cône tronqué), plus large à la base qu'à la surface, dont le fond est constitué par un plan oblique, incliné vers un orifice permettant la vidange. A la partie supérieure, est aménagé une déverse qui est munie d'une gouttière périphérique qui oriente l'écoulement quand le récipient déborde. Le sol à analyser est introduit à l'intérieur de l'appareil par l'embout d'un entonnoir maintenu au-dessus de l'orifice supérieur par trois tiges métalliques (Fig. 12).



Figure 12. Appareil de Fenwick (Originale).

I.1.2.1.2.2. Mode opératoire

Le cône tronqué de l'appareil est rempli préalablement d'eau. Le sol à analyser est versée dans une passoire ménagère d'un millimètre de mailles, que l'on emboîte dans l'entonnoir. Grâce à un jet d'eau les particules fines sont éliminés et descendent dans le récipient, tandis que les gros éléments végétaux et quelques petits cailloux sont retenus dans la passoire. L'impulsion du courant d'eau, entraîne les éléments légers qui flottent tels que les graines de mauvaises herbes, la matière organique et les kystes. De la gouttière, s'écoulent ces derniers sur un tamis de 250 µm. L'apport d'eau est permanent jusqu'à l'éclaircissement de l'eau qui déborde du récipient. Le fond du l'appareil est aussi tôt vidangé des éléments fins.

Le contenu du tamis est nettoyé à l'aide d'un jet fin pour éliminer les particules de diamètre inférieur. Par ailleurs, il est récupéré par un jet de pissette sur papier filtre tapissant un entonnoir porté par un' Erlenmeyer. Le papier filtre est laissé sur l'entonnoir à la température ambiante pendant 24 heures environ pour égoutter et sécher. Après le séchage, le contenu de papier est conservé soigneusement dans une boîte de Pétri pour des analyses ultérieures.

I.1.2.1.2.3. Récolte des kystes

L'extrait (kystes et la matière organique) récupéré dans la boîte de Pétri subit un examen sous la loupe binoculaire (G : 10×2). En effet, on ajoute à l'extrait de l'eau distillée à l'aide d'une pissette, puis on l'observe et on prélève à l'aide d'un pinceau très fin les kystes de *Globodera* présents. Les kystes prélevés sont conservés dans une boîte de Pétri tapissée par un papier filtre imbibé d'eau pour la fixation du matériel biologique et porte une étiquette portant les renseignements de l'échantillon.

Les kystes sont ensuite triés en kystes vides et pleins sous la loupe binoculaire. En effet, les kystes pleins sont reconnus grâce à leur aspect turgescent et leur couleur foncée ou parfois claire, alors que les kystes vides sont identifiés par leur couleur claire et l'aspect ridé de la cuticule. De plus, ces derniers se compriment au moindre contact avec le pinceau.

I.1.2.1.2.4. Dénombrement

Les kystes récoltés (pleins et vides) de chaque échantillon de sol analysé sont comptabilisés sous la loupe binoculaire (G : 10×2).

De même, les œufs et les larves des kystes pleins sont dénombrés pour chaque échantillon. Le procédé est réalisé par écrasement des kystes pleins extraits à partir du sol considérés. Chaque kyste est écrasé séparément à l'aide d'un scalpel sous la loupe binoculaire (G : 10 × 4) dans une goutte d'eau distillée sur une lame. Les œufs et les larves se libèrent dans l'eau et à l'aide d'une épingle ces derniers sont séparés et dénombrés.

La figure 13 illustre davantage les étapes d'analyse nématologique.

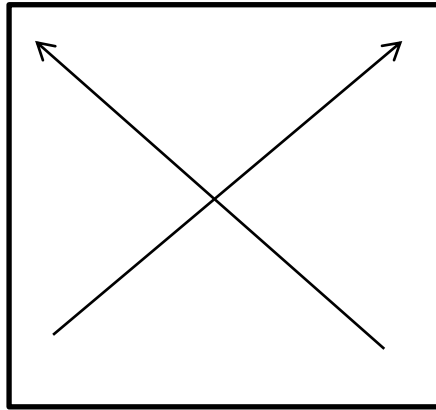
I.1.2.1.2.5. Evaluation de l'infestation

L'évaluation de l'infestation des parcelles de pomme de terre par les nématodes du genre *Globotera* est en fonction de la densité des kystes de ces nématodes. L'absence des kystes ou la présence des kystes vides permet de considérer que la parcelle est non infestée. Par contre la présence d'un seul kyste plein ou plus dans une parcelle signifie une infestation. Selon Chauvain *et al.* (2008), en zone de production de plants, la découverte d'un seul kyste dans une parcelle conduit à l'interdiction de la culture de pomme de terre pendant au minimum cinq ans.

La fréquence d'infestation représente le pourcentage des échantillons infestés qui est calculée par la relation : (nombre d'échantillons infestés / nombre d'échantillons prélevés) × 100. Cette formule est adoptée par plusieurs chercheurs dans le domaine (Toida et Ekanayake, 1992 ; Ibrahim *et al.*, 2000; 2001; 2004 ; 2017 ; Minnis *et al.* 2002, Cunha *et al.*, 2004; Hlaoua *et al.*, 2008 ; Seenivasan, 2017).

Afin d'évaluer le niveau d'infestation d'une parcelle par ces nématodes, une densité de population est déterminée et est exprimée par le nombre de kystes par une quantité de sol (Toida et Ekanayake, 1992 ; Ibrahim *et al.*, 2004 ; 2017 ; Seenivasan, 2017). De même, elle est exprimée par le nombre d'œufs et de larves par g de sol (Minnis *et al.* 2002 ; Ibrahim *et al.*, 2004 ; 2017) . Cette dernière est comparée avec le seuil de nuisibilité qui est déterminé à 10 larves/ g de sol (Mugniéry, 1975).

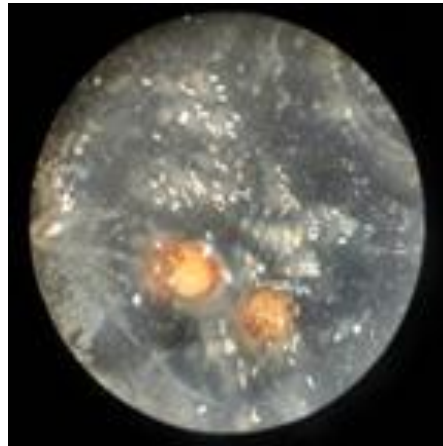
En outre, le nombre d'œufs et de larves/ kyste a été quantifié afin de caractériser davantage les populations de nématodes du genre *Globodera*.



a. Echantillonnage du sol en diagonales **b.** Séchage de sol

c. Pesée de sol

d. Extraction des kystes



e. Récupération de l'extrait

f. Séchage aux papiers filtres

g. Récolte des kystes

h. Dénombrement du contenu des kystes

Figure 13. Etapes de l'analyse nématologique (Originale).

I.1.3. Méthodes d'analyses des données

Un seul facteur qualitatif a été pris en considération dans cette investigation qui est le site d'étude.

Des variables quantitatives ont été prises en considération sur le matériel biologique en provenance dans les sites d'échantillonnage. Il s'agit du nombre de kystes ; des œufs et des larves.

Des analyses statistiques simples se sont montrées suffisantes pour exploiter les données recueillies : Analyse descriptive, analyse de la variance et l'analyse fréquentielles. De même une analyse multivariée (classification ascendante hiérarchique) s'est avérée intéressante pour une meilleure explication de nos résultats.

Analyse descriptive : Est un ensemble de méthodes permettant de décrire les unités statistiques qui composent une population. Elle a essentiellement pour but de tirer un certain nombre de renseignements qualitatifs et quantitatifs pour une comparaison. Cette analyse a concerné le calcul des moyennes et des écarts types pour estimer la variabilité des populations dans les milieux prospectés. Ceux-ci ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel.

Analyse de la variance (ANOVA) : Elle a été effectuée afin de tester la signification entre les moyennes testées. Des analyses à un facteur ont été appliquées pour tester le facteur contrôlé ayant des modalités (les sites d'étude) sur les moyennes d'une variable quantitative (densité de population des nématodes à kyste de pomme de terre). En fonction de la valeur de la probabilité (p): Toutes les analyses de la variance ont été effectuées à l'aide du logiciel Statistica (version 6).

Distribution fréquentielle : Elle représente la méthode pratique de la description d'une population ou d'un échantillon et d'en procéder avant tout à une distribution de fréquence. Il s'agit de caractériser les populations dans leur ensemble et de présenter les données sous une forme synthétique et sans perdre l'essentielle de l'information contenue dans les valeurs de la variable à établir. Les données sont classées, puis regroupées dans un nombre restreint de classes. En statistique on postule souvent que les valeurs des données sont calculées à partir d'une population ayant une distribution normale (Chakali, 2006). Cette

analyse a concerné la distribution des densités de population des nématodes. Les distributions ont été effectuées à l'aide du logiciel Statistica (version 6).

Classification ascendante hiérarchique des variables (CAH): Le dendrogramme, ou arbre hiérarchique est représenté par un graphique linéaire avec des distances d'agrégation. Ce graphe est utilisé pour identifier les plateaux où de nombreuses classes sont générées à une distance d'agrégation voisine. L'objectif de cet algorithme est de rassembler dans des classes de plus en plus larges, en utilisant certaines mesures de similarités ou de distances Euclidiennes (De Lagarde, 1983). La classification a concerné les régions prospectées en fonction de leurs densités d'infestation par les nématodes à kystes de la pomme de terre. Cette classification a été réalisée par le logiciel Statistica (version 6).

I.2. Résultats et discussion

I.2.1. Résultats

I.2.1.1. Distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera* sp. dans différentes parties de l'Algérie

Les prospections et analyses nématologiques réalisées sur plusieurs années dans diverses parcelles de pomme de terre nous ont permis d'établir une approche sur l'infestation et la répartition des nématodes à kystes *Globodera* sp. en Algérie (Tableau 4).

Tableau 4. Différentes parties considérées en Algérie, nombre d'échantillons contenant des kystes, des œufs et des larves des nématodes *Globodera* sp.

| Partie de l'Algérie | Nombre de régions | Nombre de localités | Nombre d'échantillons prélevés | Nombre d'échantillons contenant des kystes | Nombre d'échantillons contenant des œufs et des larves | % des échantillons contenant des œufs et des larves* |
|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|--|--|--|
| Centre | 6 | 47 | 161 | 123 | 66 | 40,99 |
| Ouest | 6 | 34 | 120 | 76 | 52 | 43,33 |
| Est | 6 | 29 | 99 | 49 | 18 | 18,18 |
| Sud | 3 | 13 | 40 | 19 | 12 | 30,00 |
| Total | 21 | 123 | 420 | 267 | 148 | 35,23 |

*: $\frac{\text{Nombre d'échantillons contenant les œufs et les larves}}{\text{Nombre d'échantillons prélevés}} \times 100$

Sur un effectif total de 420 échantillons de sol analysés, 267 contenant les kystes de nématodes de pomme de terre *Globodera* sp., mais seulement 148 échantillons infestés puisque contenant des œufs et des larves soit 35,23%. Les résultats montrent que toutes les parties d'Algérie considérées (Centre, Ouest, Est, Sud) sont infestées par les *Globodera*, mais des taux d'infestation variables d'une partie à une autre avec un pourcentage allant de 18,18 à 43,33%. Le pourcentage d'infestation le plus élevé a été enregistré à l'Ouest et le plus faible à l'Est. Afin d'analyser davantage la répartition de ces nématodes nous avons représenté les taux calculés sous forme de sectoriel représenté dans la figure 14.

La répartition des parcelles infestées (148 parcelles) sur les différentes parties considérées est variable. Le nombre le plus élevé a été enregistré au Centre avec 66 parcelles, représentant un taux de 44,59%, suivie par l'Ouest avec 52 parcelles soit 35,13% et l'Est avec 18 parcelles soit 12,16%. Cependant, au Sud seulement 12 parcelles ont été détectées infestées, représentant 6,52% de l'ensemble des parcelles infestées. Le sectoriel de la figure 15 illustre davantage la répartition global des parcelles infestées sur les différentes parties d'Algérie.

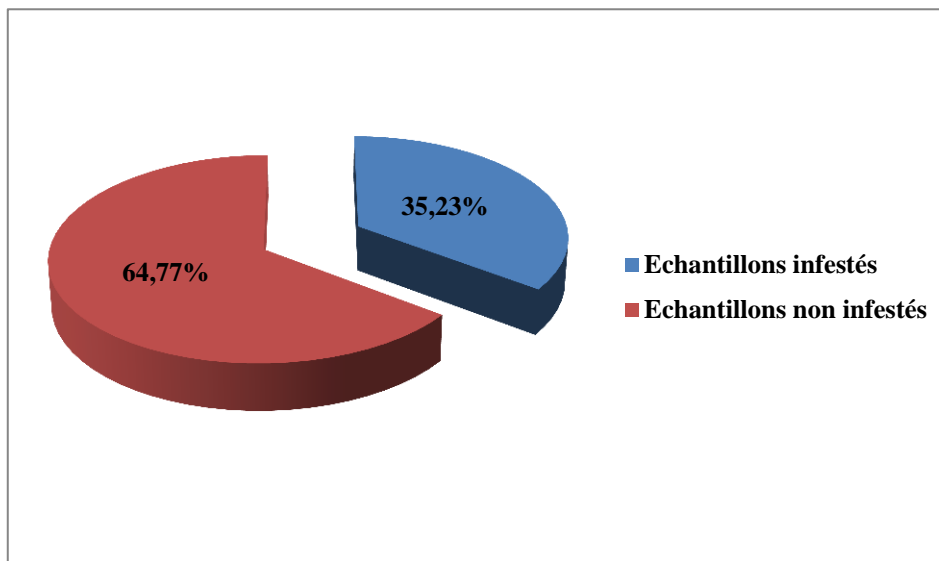


Figure 14. Pourcentage des échantillons de sol infestés par *Globodera* sp. en Algérie.

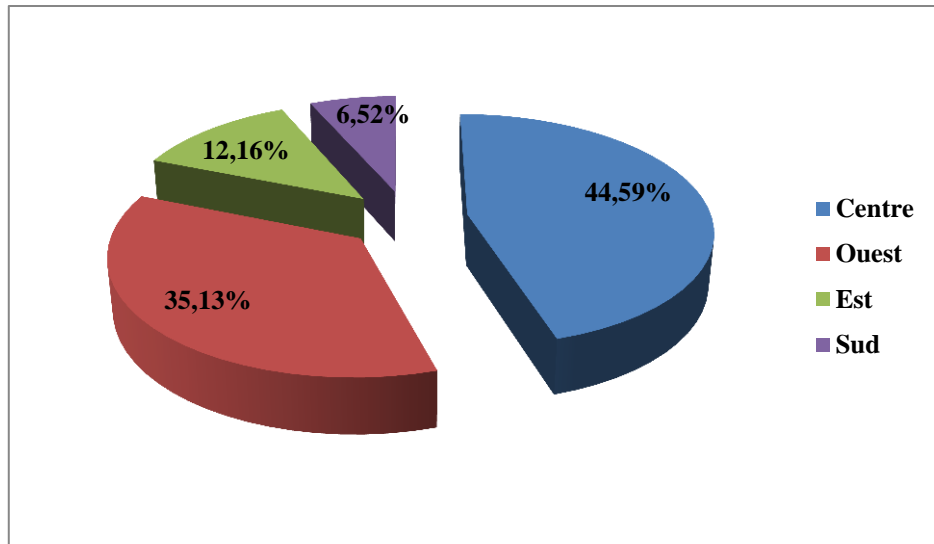


Figure 15. Répartition du nombre de parcelles infestées par *Globodera* sp. par région prospectée.

I.2.1.2. Distribution des nématodes à kystes *Globodera* sp. dans différentes régions

Les résultats relatifs à la distribution des nématodes à kystes de la pomme terre dans les différentes régions prospectées en Algérie sont consignés dans le tableau 5 et illustrés par la figure 16.

Tableau 5. Régions prospectées en Algérie, nombre d'échantillons contenant des kystes, des œufs et des larves des nématodes *Globodera* sp.

| Partie de l'-Algérie | Région | Nombre de localités | Nombre d'-échantillons prélevés | Nombre d'-échantillons contenant des kystes | Nombre d'-échantillons contenant des œufs et des larves | % des échantillons contenant des œufs et des larves* |
|----------------------|------------|---------------------|---------------------------------|---|---|--|
| Centre | Tipaza | 13 | 45 | 36 | 16 | 35,55 |
| | Ain Defla | 12 | 42 | 38 | 19 | 45,23 |
| | Blida | 5 | 20 | 10 | 7 | 35,00 |
| | Alger | 5 | 18 | 11 | 10 | 55,55 |
| | Boumerdes | 6 | 18 | 14 | 7 | 38,88 |
| | Bouira | 6 | 18 | 14 | 7 | 38,88 |
| Ouest | Chlef | 9 | 27 | 16 | 11 | 40,74 |
| | Relizane | 3 | 12 | 8 | 4 | 33,33 |
| | Mostaganem | 9 | 32 | 26 | 24 | 75,00 |
| | Mascara | 4 | 14 | 9 | 6 | 42,85 |

| | | | | | | |
|------------|------------|---|----|----|---|--------------|
| | Tlemcen | 5 | 15 | 11 | 6 | 40,00 |
| | Tiaret | 4 | 20 | 6 | 1 | 5,00 |
| Est | Mila | 5 | 15 | 7 | 3 | 20,00 |
| | Guelma | 7 | 21 | 11 | 4 | 19,04 |
| | Souk Ahras | 7 | 21 | 10 | 4 | 19,04 |
| | Tébessa | 3 | 11 | 6 | 2 | 18,18 |
| | Sétif | 3 | 11 | 8 | 4 | 36,36 |
| | Skikda | 4 | 20 | 7 | 1 | 5,00 |
| Sud | Djelfa | 4 | 12 | 8 | 4 | 33,33 |
| | Biskra | 5 | 15 | 0 | 0 | 00,00 |
| | El Oued | 4 | 13 | 11 | 8 | 61,53 |

Nombre d'échantillons contenant les œufs et les larves
 * : $\frac{\text{Nombre d'échantillons contenant les œufs et les larves}}{\text{Nombre d'échantillons prélevés}} \times 100$

A l'échelle de toutes les régions, les nématodes à kystes de la pomme de terre sont présents à l'exception de Biskra où tous les échantillons de sol analysés sont dépourvus de ces parasites. Le taux d'infestation est variable entre les régions. Les pourcentages d'infestation les plus élevés sont de 75% et 61,53% qui ont été enregistrés respectivement dans la région de Mostaganem et El Oued, tandis que la fréquence d'infestation la plus faible (5%) a été notée dans les sites de Tiaret et Skikda.

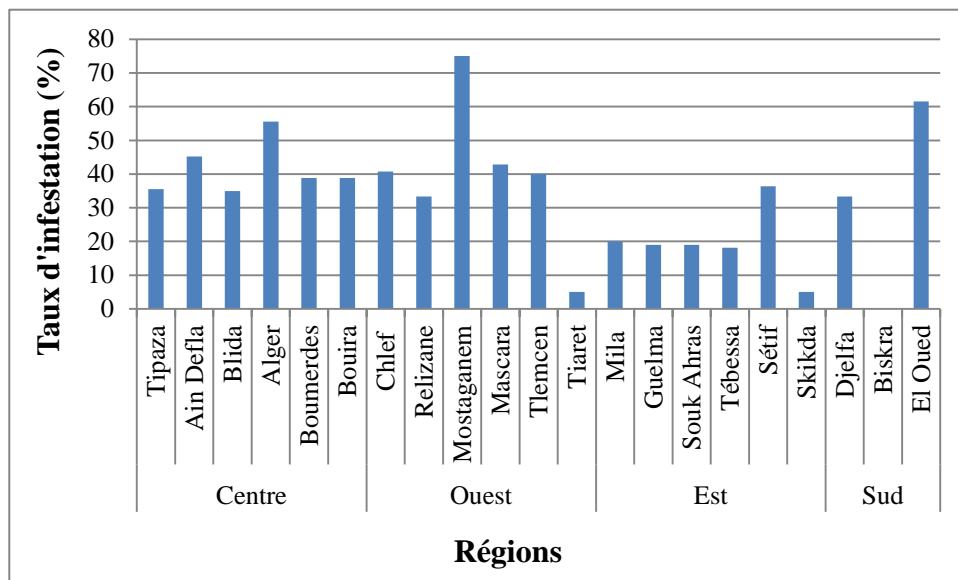


Figure 16. Taux d'infestation des régions prospectées en Algérie par les nématodes de la pomme de terre *Globodera* sp.

Sur la base des données recueillies sur la présence et l'infestation des régions considérées par les nématodes à kystes de la pomme de terre, on a établi une cartographie de la distribution de ces parasites de quarantaine en Algérie (Fig. 17).

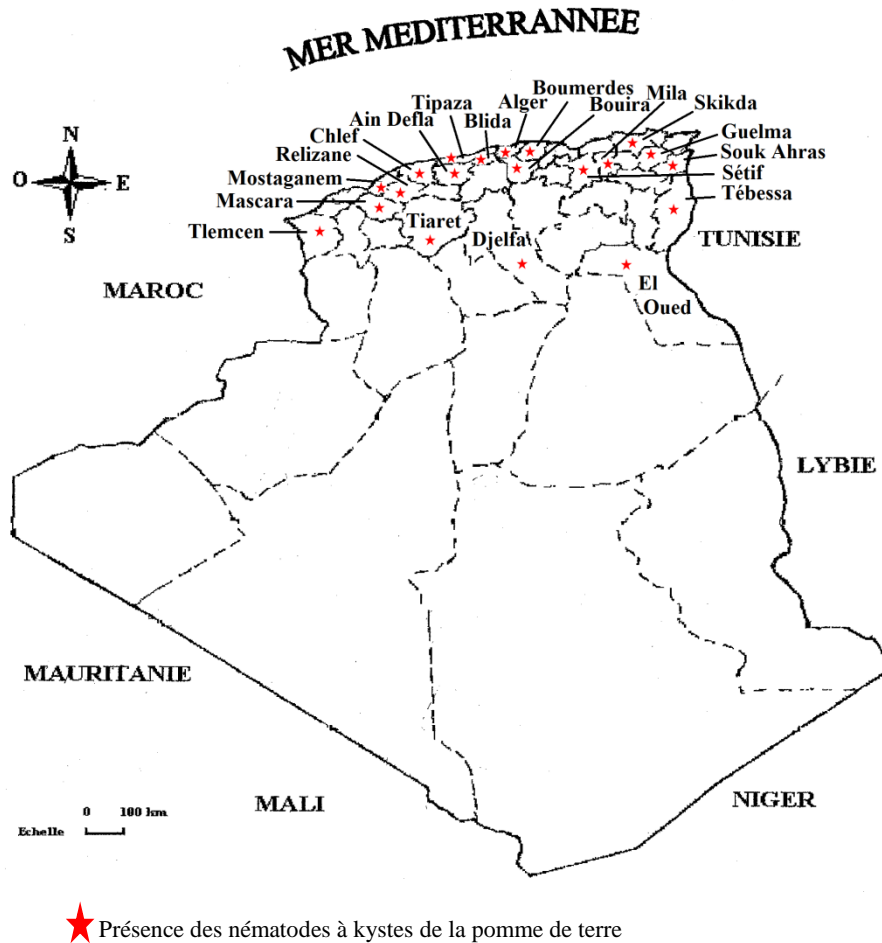


Figure 17. Carte de distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre dans différentes régions prospectées en Algérie (Originale).

I.2.1.3. Niveau d'infestation des nématodes *Globodera* sp.

La densité des populations de nématodes constitue l'un des paramètres de mesure de l'état d'infestation. Elle est exprimée par le nombre de kystes et le nombre d'œufs et de larves par une quantité de sol. Les moyennes des densités de population et les écarts types correspondants sont calculés pour chaque région étudiée, et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 6.

Tableau 6. Niveau d'infestation des régions prospectées en Algérie par les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera* sp.

| Partie de L'-Algérie | Région | Nombre de kystes vides / kg de sol | | Nombre de kystes pleins / kg de sol | | Nombre total des kystes / kg de sol | | Nombre d'Œufs et larves / kg de sol | | Nombre d'Œufs et larves / g de sol * | | Nombre d'Œufs et larves / kystes ** | |
|----------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | | Valeurs extrêmes | Moyenne ± écart type | Valeurs extrêmes | Moyenne ± écart type | Valeurs extrêmes | Moyenne ± écart type | Valeurs extrêmes | Moyenne ± écart type | Valeurs extrêmes | Moyenne ± écart type | Valeurs extrêmes | Moyenne ± écart type |
| Centre | Tipaza | 0 - 188 | 38,8±49,25 | 0 - 172 | 13,62±42,10 | 0 - 323 | 52,42±86,50 | 0 - 69280 | 5011,8±15695,71 | 0 - 69,28 | 5,17±15,69 | 54 - 758 | 369,31±148,22 |
| | Ain Defla | 0 - 216 | 45,26±47,40 | 0 - 190 | 9,16±32,47 | 0 - 216 | 54,42±53,83 | 0 - 71033 | 3507,09±12407,75 | 0 - 71,03 | 3,50±12,40 | 101 - 698 | 381,60± 121,63 |
| | Blida | 0 - 51 | 9,1±13,49 | 0 - 90 | 10,4±24,46 | 0 - 119 | 19,5±35,79 | 0 - 40159 | 4393,4±10566,94 | 0 - 40,15 | 4,39±10,56 | 101 - 853 | 422,44± 163,60 |
| | Alger | 0 - 279 | 43,11±77,32 | 0 - 101 | 13,66±25,88 | 0 - 303 | 56,77±95,97 | 0 - 38926 | 5268,55±10109,99 | 0 - 38,92 | 5,26±10,10 | 83 - 754 | 386,93± 138,83 |
| | Boumerdes | 0 - 82 | 30,27±26,60 | 0 - 74 | 5,5±17,28 | 0 - 93 | 35,77±30,96 | 0 - 23150 | 1756±5407,09 | 0 - 23,15 | 1,75±5,40 | 83 - 499 | 319,27± 121,82 |
| | Bouira | 0 - 143 | 35,22±39,89 | 0 - 35 | 3,33±8,38 | 0 - 150 | 38,22±39,20 | 0 - 10045 | 1008,94±2436,30 | 0 - 10,04 | 1,007±2,43 | 129 - 478 | 302,68± 77,08 |
| Ouest | Chlef | 0 - 98 | 22,14±28,49 | 0 - 46 | 5,37±11,35 | 0 - 120 | 27,51±37,01 | 0 - 14089 | 1715,66±3547,70 | 0 - 14,08 | 1,71±3,54 | 100 - 499 | 319,46± 110,13 |
| | Relizane | 0 - 69 | 16,5±20,48 | 0 - 40 | 4,58±11,52 | 0 - 69 | 21,08±24,06 | 0 - 11941 | 1409,75±3455,87 | 0 - 11,94 | 1,40±3,45 | 102 - 494 | 307,58± 101,21 |
| | Mostaganem | 0 - 96 | 22,12±24,23 | 0 - 270 | 30,34±59,62 | 0 - 325 | 52,46±73,62 | 0 - 85396 | 9155,34±18373,95 | 0 - 85,39 | 9,15±18,37 | 69 - 581 | 301,65± 123,78 |
| | Mascara | 0 - 99 | 25,5±32,95 | 0 - 27 | 4,14±8,43 | 0 - 99 | 29,64±35,54 | 0 - 8668 | 1346,35±2734,17 | 0 - 8,66 | 1,34±2,73 | 100 - 477 | 324,98± 95,52 |
| | Tlemcen | 0 - 88 | 29,93±29,55 | 0 - 30 | 3,13±7,68 | 0 - 115 | 28,26±30,58 | 0 - 9389 | 1013,46±2412,71 | 0 - 9,38 | 1,01±2,41 | 110 - 480 | 323,44± 88,20 |
| | Tiaret | 0 - 56 | 8,35±15,96 | 0 - 6 | 0,3±1,34 | 0 - 56 | 8,65±16,57 | 0 - 1391 | 69,55±311,03 | 0 - 1,39 | 0,06±0,31 | 141 - 310 | 231,83± 67,64 |
| Est | Mila | 0 - 91 | 14,4±29,72 | 0 - 25 | 2,6±6,67 | 0 - 91 | 17±29,66 | 0 - 7231 | 760,4±1934,26 | 0 - 7,23 | 0,76±1,93 | 89 - 463 | 292,46± 107,95 |
| | Guelma | 0 - 66 | 15,14±21,56 | 0 - 20 | 1,61±4,53 | 0 - 66 | 16,52±22,17 | 0 - 5577 | 474,19±1281,12 | 0 - 5,57 | 0,47±1,27 | 90 - 496 | 292,88± 111,22 |
| | Souk Ahras | 0 - 61 | 12,95±19,72 | 0 - 15 | 1,14±3,52 | 0 - 61 | 14,09±20,35 | 0 - 4130 | 326,66±986,14 | 0 - 4,13 | 0,32±0,98 | 82 - 499 | 285,83± 123,24 |
| | Tébessa | 0 - 35 | 11,90±13,24 | 0 - 17 | 1,81±5,11 | 0 - 35 | 13,72±14,96 | 0 - 5084 | 548,27±1530,92 | 0 - 5,08 | 0,54±1,52 | 95 - 430 | 301,55± 101,76 |
| | Sétif | 0 - 71 | 29,36±27,54 | 0 - 21 | 2,90±6,33 | 0 - 74 | 32,27±29,12 | 0 - 6231 | 894,27±1889,94 | 0 - 6,23 | 0,89±1,88 | 96 - 467 | 303,06± 111,46 |
| | Skikda | 0 - 50 | 8,7±15,14 | 0 - 8 | 0,4±1,78 | 0 - 50 | 9,1±16,12 | 0 - 1711 | 85,55±382,59 | 0 - 1,71 | 0,08±0,38 | 121 - 340 | 213,87± 79,97 |
| Sud | Djelfa | 0 - 96 | 26,25±33,90 | 0 - 23 | 2,83±6,61 | 0 - 109 | 29,08±38,79 | 0 - 5936 | 740,66±1716,78 | 0 - 5,93 | 0,73±1,71 | 188 - 365 | 261,41± 43,91 |
| | Biskra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 00 | 00 |
| | El Oued | 0 - 76 | 28,84±24,66 | 0 - 34 | 9,15±12,47 | 0 - 106 | 38±36,10 | 0 - 14810 | 4074,38±5511,97 | 0 - 14,81 | 4,07±5,51 | 301 - 711 | 445,10± 108,79 |
| Total | Toutes les régions | 0 - 279 | 22,56±12,31 | 0 - 270 | 5,99±6,93 | 0 - 325 | 28,30±16,26 | 0 - 85396 | 2074,29±2334,35 | 0 - 85,39 | 2,07±2,34 | 54 - 853 | 345,36± 136,18 |

* : Nombre d'Œufs et larves / kg de sol

** : Nombre d'Œufs et larves contenant dans les kystes pleins

1000

Nombre de kystes pleins

Les données présentées dans le tableau 6 montrent une différence entre les moyennes considérées sur les nématodes *Globodera* sp. en fonction des régions prospectées. Les écart-type calculés témoignent de la grande variabilité. A noter que les kystes vides de ces bioagresseurs sont très abondants. La région d'Ain Defla a présenté la plus importante abondance ($45,26 \pm 47,40$ kystes/kg de sol) ; en revanche la plus faible est obtenue dans la région de Tiaret ($8,35 \pm 15,96$ kystes/kg de sol). Les valeurs extrêmes sont de 0 et de 279. Contrairement aux kystes pleins, sont peu nombreux par rapport aux kystes vides, le plus grand nombre est rencontré dans la région de Mostaganem ($30,34 \pm 59,62$ kystes/kg de sol) et le plus petit ($0,3 \pm 1,34$ kystes/kg de sol) à Tiaret avec des valeurs allant de 0 à 270. Tandis que, le nombre total des kystes est aussi conséquent. Une forte densité a été notée dans la région d'Alger ($56,77 \pm 95,97$ kystes/kg de sol) et la plus faible a été observée à Tiaret avec $8,65 \pm 16,57$ kystes/kg de sol. Les valeurs obtenues varient entre 0 et 325.

Concernant le nombre d'œufs et de larves / g de sol, le niveau le plus élevé a été noté à Mostaganem avec $9,15 \pm 18,37$ œufs et larves/g de sol, alors que le niveau le plus faible a été signalé à Tiaret avec $0,06 \pm 0,31$ œufs et larves/g de sol. Les valeurs enregistrées sont comprises entre 1,39 et 85,39.

En ce qui concerne le nombre d'œufs et de larve/ kyste, il est variable. La forte présence a été constatée chez les kystes en provenance de la région d'El Oued avec $445,10 \pm 108,79$ œufs et larves. Les kystes provenant de la région de Skikda présentent un nombre d'œufs et de larves limité à $213,87 \pm 79,97$. Les valeurs enregistrées allant de 54 à 853.

Les résultats présentés donnent une idée générale sur les moyennes des variables liées aux nématodes en fonction des régions étudiées mais ne montrent pas des différences distinctives. Afin de tirer davantage des informations nous avons procédé à une analyse de variance des nombres moyens calculés.

I.2.1.4. Exploitation des données

I.2.1.4.1. Analyse de la variance

Les résultats de l'analyse de la variance des niveaux d'infestation de nématodes en fonction des régions prospectées et le contenu des kystes récoltés sont reportés respectivement dans les tableaux 7 et 8.

Tableau 7. Analyse de la variance des densités de population des nématodes *Globodera* sp. entre les régions.

| Variable | SC Effet | DL Effet | MC Effet | SC Erreur | DL Erreur | MC Erreur | F | P |
|-----------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------|
| Kyste vide/ kg de sol | 7,015628 | 20 | 3508 | 4,813012 | 399 | 1206 | 2,907987 | 0,000035*** |
| Kyste plein / kg de sol | 2,610869 | 20 | 1305 | 2,714556 | 399 | 680 | 1,918798 | 0,010308* |
| Total des kystes /kg de sol | 1,268149 | 20 | 6341 | 9,944840 | 399 | 2492 | 2,543990 | 0,000312*** |
| Œufs et larves / kg de sol | 2,777985 | 20 | 138899240 | 3,327716 | 399 | 83401411 | 1,665430 | 0,036345* |
| Œufs et larves /g de sol | 22,81430 | 20 | 141 | 3,326606 | 399 | 83 | 1,687770 | 0,032682* |

*: Différence significative (p<0,05) ***: Différence très hautement significative (p<0,001)

L'analyse de la variance montre des différences significatives entre les densités de population de nématodes exprimées en nombre de kystes pleins/ kg de sol, nombre d'œufs et de larves par kg et par g de sol ; et des différences très hautement significatives sur le nombre de kystes vides/ kg de sol et le nombre total des kystes/ kg de sol. Cela nous a permis de dire que les caractéristiques pédoclimatiques et culturelles des sites prospectés présentent un rôle sur les densités de populations des *Globodera*. Cette hypothèse reste à discuter.

Tableau 8. Analyse de la variance des contenus des kystes des nématodes *Globodera* sp. entre les régions.

| Variable | SC Effet | DL Effet | MC Effet | SC Erreur | DL Erreur | MC Erreur | F | P |
|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| Œufs et larves /kyste | 6779697 | 19 | 356826,2 | 52453459 | 3175 | 16520,77 | 21,59864 | 0,0001*** |

L'analyse de la variance montre encore une très haute signification pour la variable nombre d'individus par kyste (P= 0,0001 < 0,001).

I.2.1.4.2. Analyse fréquentielle de la densité de population et le contenu des kystes

Afin de tirer des informations fiables sur la répartition des classes des densités de population exprimées en nombre d'œufs et de larves / g de sol et les contenus des kystes de nématodes nous avons procédé à une analyse fréquentielle des valeurs de ces variables. Les résultats obtenus sont regroupés respectivement dans les tableaux 9 et 10.

Tableau 9. Analyse fréquentielle des densités de population des nématodes exprimées en nombre d'œufs et larves/ g de sol.

| Classe des densités de population | distribution: normale, Chi-Deux =143,25989, dl=1 (ajustés), p=0,0001*** | | | |
|-----------------------------------|---|---------------|---------------------|----------------------------|
| | Observé (effectifs) | Cumul Observé | Pourcentage Observé | Pourcentage Cumulé Observé |
| 0 | 272 | 272 | 64,76 | 64,76 |
| 0<D<10 | 121 | 393 | 28,80 | 93,57 |
| 10<D<20 | 11 | 404 | 2,61 | 96,19 |
| 20<D<30 | 4 | 408 | 0,95 | 97,14 |
| 30<D<40 | 5 | 413 | 1,19 | 98,33 |
| 40<D<50 | 2 | 415 | 0,47 | 98,80 |
| 50<D<60 | 1 | 416 | 0,23 | 99,04 |
| 60<D<70 | 2 | 418 | 0,47 | 99,52 |
| 70<D<80 | 1 | 419 | 0,23 | 99,76 |
| 80<D<90 | 1 | 420 | 0,23 | 100,00 |

D : Densité

Les densités de population de nématodes se distribuent statistiquement en 10 classes avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001$). La grande proportion, soit 64,76% des échantillons analysés (272 échantillons sur 420 prélevés) présente une densité égale à 0 œufs et larves/ g de sol. Une proportion de 29% de l'effectif global des échantillons prélevés (121 échantillons sur 420 analysés) a une densité inférieure à 10 œufs et larves/ g de sol. La classe de densités situées entre 10 et 20 œufs et larves/ g de sol renferme 11 échantillons, soit 3% de l'effectif total. Un faible effectif de 4 échantillons, soit 1% de l'ensemble des échantillons étudiés présentent une densité de 20 à 30 œufs et larves/ g de sol. De même, 5 échantillons, soit environ 1% présentent une densité plus conséquente située entre 30 et 40 œufs et larves/ g de sol. Pour le reste des classes ont une proportion limitée entre 0,23% ou 0,47%.

Sur l'ensemble des 420 échantillons analysés, 272 sont indemnes de nématodes *Globodera* sp. et 148 sont infestés. Au sein de ce groupe on distingue deux sous-groupes, le premier renferme un nombre conséquent de l'ordre de 121 échantillons présentent une densité inférieure à 10 œufs et larves/ g de sol et le second comprend un faible nombre de l'ordre de 27 échantillons avec une densité qui dépasse le seuil de nuisibilité fixé à 10 larves/ g de sol (Mugniéry, 1975).

Tableau 10. Analyse fréquentielle de nombres d'œufs et de larves par kyste des nématodes *Globodera* sp.

| Classes de nombres d'œufs et larves / kyste | Distribution: Normale, Chi-Deux = 156,11489, dl=5 (ajustés), p=0,0001*** | | | |
|---|--|---------------|---------------------|----------------------------|
| | Observé (effectifs) | Cumul Observé | Pourcentage Observé | Pourcentage Cumulé Observé |
| 50<N<150 | 278 | 278 | 8,70 | 8,70 |
| 150<N<250 | 510 | 788 | 15,96 | 24,66 |
| 250<N<350 | 899 | 1687 | 28,13 | 52,80 |
| 350<N<450 | 863 | 2550 | 27,01 | 79,81 |
| 450<N<550 | 423 | 2973 | 13,23 | 93,05 |
| 550<N<650 | 136 | 3109 | 4,25 | 97,30 |
| 650<N<750 | 72 | 3181 | 2,25 | 99,56 |
| 750<N<850 | 13 | 3194 | 0,40 | 99,96 |
| 850< Infini | 1 | 3195 | 0,03 | 100,00 |

N : Nombre

L'analyse fréquentielle des données recueillies sur le contenu des kystes met en évidence deux classes distinctes, il s'agit de la classe variant de 250 à 350 et de 350 à 450 œufs et larves par kyste où, respectivement 899 et 863 cas ont été observés sur un effectif de 3195 kystes, soit 28% et 27%. Un pourcentage de 16 % des kystes possèdent un nombre d'œufs et larves compris entre 150 et 250, soit 510 observations sur 3195 kystes analysés. Un nombre de 423 cas sur 3195, soit 13% des kystes examinés contenant un nombre d'individus de 450 à 550. La classe de 50 à 150 œufs et larves confondus contient 278 kystes, soit 9 % de l'effectif total. Le reste des intervalles d'œufs et de larves représentent les pourcentages les plus faibles, de 0,03 à 4 %.

I.2.1.4.3. Classification hiérarchique

Le diagramme vertical de l'arbre retraçant l'agrégation successive des régions prospectées, basée sur leur niveau d'infestation par les nématodes *Globodera* sp. exprimé par le nombre d'œufs et de larves / g de sol est synthétisé par la figure 18.

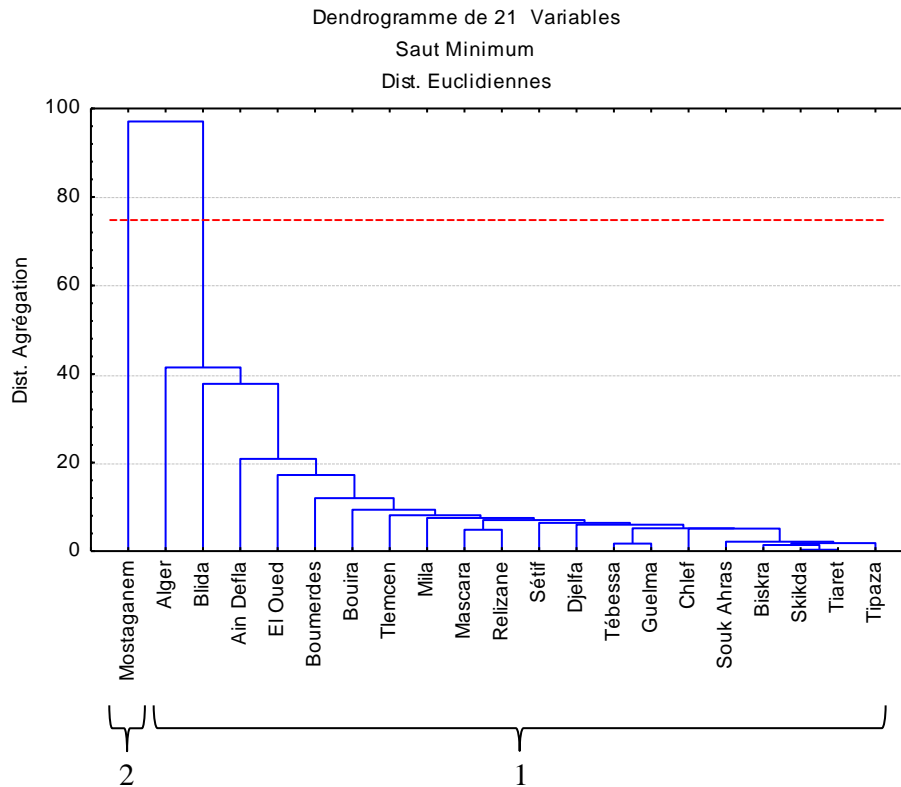


Figure 18. Classification hiérarchique des régions prospectées sur le niveau d’infestation par les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera* sp.

L’analyse par classification hiérarchique ascendante utilisant la méthode du saut minimum de variable densité de population de nématodes récoltés de différentes régions sépare ces dernières en deux groupes distinctes. L’un renferme 20 régions (Tipaza, Tiaret, Skikda, Biskra, Souk Ahras, Chlef, Guelma, Tébessa, Djelfa, Sétif, Relizane, Mascara, Mila, Tlemcen, Bouira, Boumerdes, El Oued, Ain Defla, Blida et Alger) et l’autre comprend seulement une région (Mostaganem).

I.2.2. Discussion

La présente investigation démontre et témoigne que les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera* sp. sont largement distribués dans les étages bioclimatiques de l’humide au saharien. Ils sont présents dans toutes les principales régions à vacations pomme de terre (20 régions). Cependant le taux d’infestation varie considérablement selon les régions prospectées. L’incidence la plus faible (5%) est notée dans les régions de Skikda et de Tiaret, tandis que la région de Mostaganem renferme le taux le plus élevé (75%). Cette variation est principalement attribuée aux facteurs environnementaux et aux pratiques agricoles qui régissent les populations de nématodes dans leur aire de répartition.

A l'échelle parcellaire, plus d'un tiers des parcelles prospectées renferment les nématodes *Globodera* sp. (148 parcelles sur 420 prospectées, soit 35,23%). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Mezerket *et al.* (2018) qui ont montré que ces parasites de quarantaine ont été notés dans 40 % des parcelles de pomme de terre échantillonnées en Algérie (12 parcelles sur 30 étudiées). La dernière enquête conduite par l'INPV dans les parcelles de production de semence de pomme de terre a montré une infestation très étendue de ces bioagresseurs dans les terres maraîchères du territoire ce qui corroborent avec les résultats présentés. A titre d'exemple, des taux d'infestation de 16,9% (6 060,8 ha infestés sur 35 848,15 ha analysés), de 15,2% (6 276,5 ha infestés sur 41 223,7 ha analysés) et de 18,6% (6 870 ha infestés sur 36 903 ha analysés) ont été enregistrés respectivement au cours des campagnes 2014 à 2016 (INPV, 2017).

Des études analogues conduites dans divers pays révèlent la présence des nématodes de pomme de terre mais avec des taux d'infestations variables. Une étude réalisée en Angleterre et au pays de Galles sur 484 échantillons de sol a révèlé que 64% des échantillons sont infestés par ces bioagresseur (Minnis *et al.*, 2002). L'enquête effectuée au Portugal par Cunha *et al.*, (2004) a montré que ces parasites sont présents dans 35% de ensemble de 226 échantillons de sol collectés. Les résultats de l'enquête menée en Tunisie indiquent que 44 sur 118 champs étudiés (37,28%) sont infestés par *Globodera* sp. (Hlaoua *et al.*, 2008). Quelques kystes viables de *Globodera rostochiensis* ont été détectés dans des échantillons de sol prélevés en Bosnie-Herzégovine (Ostojić *et al.*, 2011) et au Kenya (Mwangi *et al.*, 2015), ce qui indique que l'infestation est relativement récente. Seenivasan (2017) note que 36% des 75 champs de pomme de terre étudiés en Inde renferment des espèces de *Globodera*. Enfin la récente enquête conduite au Liban témoigne de la présence des nématodes *Globodera* sp. dans 87 sur 294 sites échantillonnés, représentant un taux d'infestation de 29,59% (Ibrahim *et al.*, 2017).

La densité de population de nématodes *Globodera* sp. varie d'une parcelle à une autre et elle est comprise entre 0 et 270 kystes pleins / kg de sol soit de 0 à 27 kystes pleins / 100 g de sol. Cette densité se rapproche de celle de *Globodera rostochiensis* trouvée en Turquie qui est en moyenne de 60 kystes/250 g de sol (Özarslandan *et al.*, 2019), mais faible par rapport à celle de *Globodera* sp. obtenue dans les comtés de l'Est de l'Angleterre qui varie de 0 à 60 kystes pleins/100 g de sol (Brown, 1969) et celle de *Globodera rostochiensis* qui atteint jusqu'à 128 kystes/100 g de sol et 6200 kystes/kg sol respectivement au Sri Lanka (Toida et Ekanayake, 1992) et dans la région de Veracruz au Mexique (Desgarennnes *et al.*, 2006). La différence est

due principalement aux conditions qui caractérisent les parcelles étudiées (sol, climat, variété de la plante hôte, rotation...). Malgré leur réduction de présence, ces kystes sont une menace pour des cultures ultérieures car à partir d'un seul kyste on peut avoir un nombre important d'individus grâce au taux élevé de la fécondité des femelles, jusqu'à 1000 œufs/kyste (Chauvin *et al.*, 2008). En outre, le kyste plein constitue un organe de dispersion et de résistance extraordinaire, présent dans le sol, il peut donc se trouver dans le tubercule permettant à ces nématodes de coloniser des zones très éloignées de leur point d'origine, ce qui explique leur répartition spatiale.

Relativement au nombre d'œufs et de larves / g de sol, une grande différence a été notée entre les parcelles étudiées, jusqu'à 85,39 œufs et larves / g de sol. Ces densités se rapprochent de celles enregistrées en France (Chauvin *et al.*, 2008), au Liban (Ibrahim *et al.*, 2004) et en Algérie (Mezerket *et al.*, 2018) qui atteignent 50, 62,31 et 98,22 œufs et larves / g de sol respectivement, mais complètement différentes à celles obtenues par Brown (1969) dans les comtés de l'Est de l'Angleterre (jusqu'à 150 œufs/g de sol). La densité de population la plus fréquente est inférieure à 10 œufs et larves / g de sol soit 81,75% de l'ensemble de 148 parcelles infestées. Ce taux est comparable à celui constaté au Liban qui est de l'ordre de 76,1% (Ibrahim *et al.*, 2004) et légèrement supérieur à celui noté en Angleterre et au pays de Galles qui est de 62% (Minnis *et al.*, 2002). En revanche, seulement 18,25% des sites infestés (27 parcelles) présentent des densités d'infestations supérieures à 10 œufs et larves / g de sol, ce qui signifie que ces infestations dépassent le seuil de nuisibilité. Ces fortes infestations peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs notamment :

-La rotation culturale : L'infestation de diverses parcelles par les nématodes est causée par l'absence de la rotation de la pomme de terre, conduite en monoculture sur plusieurs années successives ou bien avec une rotation limitée dans le temps avec les céréales. A ce sujet, divers auteurs confirment que la monoculture favorise la multiplication et l'extension de ces nématodes. Zawislak *et al.* (1989) ont montré que la densité de population de *Globodera rostochiensis* passe de 0,2 à 17, à 49 et à 200 œufs/ g de sol respectivement après des périodes de 2, de 3 et de 5 ans consécutives de la culture de pomme de terre. Tiilikkala (1991) a indiqué que la densité de population de nématodes en monocultures peut passer significativement de 0,1 à 256 larves/g de sol en l'espace de 3 ans. De même, la rotation avec des espèces botaniques appartenant à la même famille des Solanacées (la tomate et l'aubergine) permet l'évolution de ces ravageurs. Sur la base de nos enquêtes, nous avons retenu que la majorité des agriculteurs ne pratique pas la rotation culturale. Les résultats des

enquêtes témoignent que la majorité des agriculteurs ne sont pas au courant de la présence de nématodes et que la culture répétée de pomme de terre sur une même parcelle pourrait contribuer favorablement à l'accumulation de ces parasites dans le sol, ce qui certifie du manque de la vulgarisation agricole.

-La sensibilité variétale: D'après l'enquête effectuée, la variété la plus utilisée c'est Spunta, suivie par la Désirée qui présentent une sensibilité vis-à-vis des nématodes à kystes de pomme de terre et cela a été démontré par plusieurs auteurs (Evans, 1993 ; Urek *et al.*, 2008; Hadji hassani *et al.*, 2013; Djebroune, 2013 ; Hajji-Hedfi, 2017). Les agriculteurs expliquent leur préférence pour ces variétés par les rendements élevés qu'elles offrent et par une plus large disponibilité sur le marché. De plus, il existe un nombre limité de variétés commerciales résistantes à *Globodera pallida* (Chauvin *et al.*, 2008).

- La nature structurelle du sol : Certaines parcelles très infestées par ces endoparasites racinaires se caractérisent par un sol léger notamment celles prospectées à Tipaza, Alger, Mostaganem et El Oued (observation personnelle). Ceci pourrait s'expliquer par l'influence de sol. Les résultats de Shneider et Mugniéry (1971) témoignent que le développement et le déplacement des nématodes *Globodera* sp. semblent être plus favorisés en sol légers et poreux qu'en sol lourd.

Le manque de données concernant la nature du sol de différentes parcelles prospectées, rend complexe l'interprétation et la stratégie des infestations.

-Le climat : La température et l'humidité sont des facteurs limitants le développement de ces nématodes. *Globodera rostochiensis* se développe davantage dans la tranche de 15 à 20°C alors que pour *Globodera pallida* la température optimale pour l'éclosion est reste plus large, comprise entre 10 et 20°C (Salazar et Ritter, 1993). De même, l'humidité du sol est nécessaire pour le déplacement des larves (Schneider et Mugniéry, 1971).

En outre, il existe d'autres facteurs qui peuvent contribuer à l'infestation des nématodes à kystes de pomme de terre en Algérie notamment le manque périodique des analyses nématologiques et l'absence des réglementations de quarantaine.

L'analyse nématologique a mis en évidence une prédominance des kystes vides de *Globodera* sp. dans les échantillons de sol collectés des différentes régions. Ce résultat est conditionné par les conditions climatiques favorables à l'éclosion et la présence de la plante hôte. Des

contraintes culturales, édaphiques et climatiques ont empêché la multiplication et la survie des larves. Les kystes vides pourraient caractériser la présence de femelles stériles.

Une absence totale des *Globodera* dans certaines parcelles et d'autres renferment que des kystes vides. Ceci s'explique principalement par l'influence des conditions de la parcelle qui défavorables à la multiplication de ces parasites.

Par ailleurs, les nématodes à kystes de la pomme de terre n'ont été pas notés dans la région de Biskra. Dans cette région, la pomme de terre est produite de manière irrégulière et principalement en rotation avec d'autres cultures maraichères (melon, oignon, laitue, carotte ...). Cette pratique peut réduire la multiplication et la propagation de ces nématodes phytophages. Cependant, ces résultats peuvent ne pas refléter l'occurrence exacte de ces parasites, en raison du nombre relativement faible d'échantillons collectés par rapport à cette grande zone (15 échantillons). Par conséquent, une enquête intensive sur la distribution de ces nématodes est toujours nécessaire dans cette zone. Des investigations complémentaires sont à prévoir pour des résultats plus fiables.

Il ressort clairement de cette étude que les nématodes à kystes de la pomme de terre sont largement répandus en Algérie. Compte tenu des densités de population obtenues, ces nématodes endommagent fortement la pomme de terre dans de nombreux cas. Par conséquent, des mesures doivent être prises pour empêcher leur propagation dans les zones indemnes et pour maintenir leur densité de population en dessous des niveaux de dommages dans les zones infestées. La détection précoce des infestations, la gestion intégrée par des réglementations de quarantaine, la rotation culturale, la lutte physique et l'utilisation des variétés résistantes peuvent aider à réduire la densité de population du nématode à des niveaux permettant une production de pommes de terre rentable (Franco, 1986; Trudgill, 1986 ; Elston *et al.*, 1991 ;). La culture piège pourrait être une alternative de lutte contre ces nématodes (Scholte, 2000).

Au terme de cette étude, il est nécessaire d'engager davantage des enquêtes sur la répartition des nématodes à kystes de la pomme de terre afin de déterminer leur degré de gravité. Des études pratiques sur la dynamique des populations et l'importance des dommages sont indispensables pour estimer l'impact économique de ces nématodes sur la pomme de terre. Les sources de résistance aux nématodes doivent être recherchées et utilisées dans les

programmes de sélection de pomme de terre. La sensibilisation des agriculteurs par les programmes de la vulgarisation agricole est une obligation.

DEUXIEME CHAPITRE

**Identification morphométrique et
moléculaire de quelques
populations algériennes de
nématodes à kystes de la pomme
de terre *Globodera rostochiensis*
et *Globodera pallida***

DEUXIEME CHAPITRE

Identification morphométrique et moléculaire de quelques populations algériennes de nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*

L'identification rapide des nématodes à kyste de la pomme de terre est un élément clé pour la gestion de ces organismes nuisibles (Ibrahim *et al.*, 2000) et pour entreprendre les méthodes de lutte adéquates (Manduric *et al.*, 2004), car les espèces sympatriques, *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* peuvent réagir différemment aux alternatives de lutte. Whitehead *et al.* (1984) ont constaté que l'oxamyl a une réponse efficace à l'espèce *Globodera rostochiensis* que *Globodera pallida*. Actuellement, il existe des variétés commerciales résistantes à *Globodera rostochiensis*, mais le cas de *Globodera pallida* est plus complexe dans la mesure où il existe peu de variétés résistantes (Chauvin *et al.*, 2008). L'identification morphométrique, basée sur divers caractères morphométriques des kystes et des juvéniles de deuxième stade (J2), est assez efficace et couramment utilisée (Urek *et al.*, 2002; Skantar *et al.*, 2007; Hlaoua *et al.*, 2008; García *et al.*, 2009; Oro *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2010; Groza *et al.*, 2011; Bačić *et al.*, 2013; Douda *et al.*, 2014; Tirchi *et al.*, 2016; Camacho *et al.*, 2017). Cependant, certains caractères de diagnostic peuvent se chevaucher entre les espèces, ce qui peut entraîner à une identification non fiable (Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991; Fleming et Powers, 1998 ; Manduric *et al.*, 2004). Une confirmation par les méthodes moléculaires basées sur l'analyse de l'ADN est indispensable. Plusieurs tests ont été développés et appliqués avec succès à séparer les deux espèces de *Globodera*, la réaction en chaîne par polymérase (PCR) reste la plus utilisée (Shields *et al.*, 1996; Ibrahim *et al.*, 2001; 2004; Vejl *et al.*, 2002; Pylypenko *et al.*, 2005; Reid, 2009; Groza *et al.*, 2011; Grubišić *et al.*, 2013).

Dans la présente étude, diverses populations de nématodes à kystes de la pomme de terre récoltées dans les différentes régions productrices de la pomme de terre en Algérie ont été identifiées par la méthode morphométrique et confirmées par la méthode moléculaire. La

biogéographie de ces deux nématodes de quarantaine est une nécessité pour gérer au mieux les alternatives à entreprendre pour une meilleure protection des régions de ces biagresseurs.

II.1. Matériels et méthodes

II.1.1. Matériels biologiques

Une diversité de 36 populations de nématodes à kystes de la pomme de terre a été prise en considération pour conduire cette étude. Les populations des régions prospectées sont récoltées à partir des échantillons de sol prélevés durant la période allant de 2014 à 2018 dans des parcelles de pomme de terre situées dans 17 zones productrices: Ain Defla, Tipaza, Alger, Boumerdes, Bouira, Blida, Tlemcen, Mascara, Mostaganem, Relizane, Chlef, Guelma, Tébessa, Mila, Sétif, El Oued et Djelfa. Les populations considérées sont conservées séparément dans des Ependorfs stériles référencés et dans des conditions ambiantes jusqu'à leurs utilisation. Les populations sont codées par des numéros allant de 1 à 36. Les informations concernant l'origine des populations, la date d'échantillonnage, la plante hôte et le précédent cultural sont fournies dans le tableau 11.

Tableau 11. Caractéristiques des sites des nématodes à kystes identifiés.

| Code de la Population | Régions | Localités | Variétés de pomme de terre | Précédent cultural | Année d'échantillonnage |
|------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | Mostaganem | Sirat | | | |
| 2 | | Parcelle 1 | Spunta | Pomme de terre | 2017 |
| 3 | | Parcelle 2 | Spunta | Pomme de terre | 2017 |
| 4 | | Fornaka | Spunta | Pomme de terre | 2017 |
| 5 | | Aïn Nouissy | Désirée | Pomme de terre | 2017 |
| | | Hassi Mameche | | | |
| 6 | | Parcelle 1 | Spunta | Pomme de terre | 2017 |
| 9 | | Parcelle 2 | Spunta | Pomme de terre | 2017 |
| 7 | | Mesra | Désirée | Pomme de terre | 2017 |
| 8 | | Bouguirat | Spunta | Pomme de terre | 2017 |
| 10 | Tipaza | Aïn Tagourait | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| 11 | | Tipaza | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| | Alger | Zeralda | | | |
| 12 | | Parcelle 1 | Spunta | Aubergine | 2014 |
| 13 | | Parcelle 2 | Spunta | Tomate | 2016 |
| 14 | | Staoueli | Spunta | Courgette | 2014 |
| 15 | Boumerdes | Khemis El Khechna | Spunta | Pomme de terre | 2015 |
| | Blida | Meftah | | | |
| 16 | | Parcelle 1 | Spunta | Fenouil | 2014 |

| | | | | | |
|----|-----------|----------------|---------|----------------|------|
| 17 | | Parcelle 2 | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| 18 | | Parcelle 3 | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| 19 | | Parcelle 4 | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| 20 | Bouira | Aïn Bessem | Spunta | Pomme de terre | 2015 |
| 21 | Ain Defla | El Abadia | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| 22 | | Ain Defla | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| 31 | | Bourached | Spunta | Pomme de terre | 2014 |
| 23 | Chlef | Ouled Fares | Désirée | Pomme de terre | 2017 |
| 24 | | Chlef | Désirée | Pomme de terre | 2017 |
| | Mascara | Ghriss | | | |
| 25 | | Parcelle 1 | Désirée | Pomme de terre | 2017 |
| 1 | | Parcelle 2 | Désirée | Pomme de terre | 2017 |
| 26 | Relizane | El Hamadna | Désirée | Pomme de terre | 2017 |
| | El Oued | Hassi Khalifa | | | |
| 27 | | Parcelle 1 | Spunta | Pomme de terre | 2016 |
| 30 | | Parcelle 2 | Spunta | Pomme de terre | 2016 |
| 28 | | Trifaoui | Spunta | Pomme de terre | 2016 |
| 29 | Djelfa | Aïn El Ibel | Spunta | Pomme de terre | 2015 |
| 32 | Tlemcen | Maghnia | Désirée | Pomme de terre | 2018 |
| 33 | Tébessa | Cheria | Désirée | Pomme de terre | 2018 |
| 34 | Sétif | Guellal | Spunta | Pomme de terre | 2018 |
| 35 | Mila | Chelghoum Laid | Spunta | Pomme de terre | 2018 |
| 36 | Guelma | Bouchegouf | Spunta | Pomme de terre | 2018 |

II.1.2. Analyse morphométrique

L'étude morphométrique concerne les kystes et les juvéniles de deuxième stade J2 de ces nématodes phytophages et cela a été inclus dans plusieurs clés de détermination (Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991; Fleming et Powers, 1998; Manduric *et al.*, 2004; OEPP, 2013, 2017).

II.1.2.1. Kystes

Après l'analyse de la forme, de la taille et la couleur des kystes, nous avons procédé à une étude morphométrique de 10 kystes représentatifs de chacune des populations. L'opération conduite a commencé par le nettoyage des kystes afin de les débarrasser des débris de sol. Les kystes sont ensuite mis dans un verre de montre contenant de l'eau distillée et sont purifiés soigneusement à l'aide d'un pinceau fin.

Les kystes ainsi préparés ont subi par la suite des mensurations de la longueur et de la largeur du corps et longueur du cou (Fig. 19). Chaque kyste est placé séparément dans une goutte d'eau distillée sur une lame puis observé et mesuré au microscope optique Olympus BX- 41.

De même, les régions périnéales des kystes ont été étudiées. Afin d'analyser ces régions, des coupes transversales ont été effectuées dans le tiers postérieur des kystes à l'aide d'un scalpel ophtalmique afin d'exposer la face intérieure de la région périnéale. Cette opération a été réalisée dans une goutte d'eau distillée sur une lame et sous le microscope optique LEICA MZ6. Les coupes obtenues sont minutieusement vidées de leur contenu (œufs et juvéniles) à l'aide d'une aiguille et coupées des périphéries à l'aide d'un scalpel en fur et à mesure jusqu'à l'obtention une forme presque hexagonale. La préparation est ensuite recouverte d'une lamelle pour une observation ultérieure, une mesure et une photographie au microscope optique Olympus BX- 41.

Au total, 3 critères morphométriques de la région périnéale ont été pris en considération; le diamètre du fenestre vulvaire, la distance entre l'anus et le fenestre vulvaire et le nombre de stries entre l'anus et le fenestre vulvaire. Le rapport de Granek (la distance entre l'anus et le fenestre vulvaire / le diamètre de fenestre vulvaire) a été calculé.



Figure 19. Mensurations effectuées sur les kystes de nématodes *Globodera* sp. (1 : largeur du kyste, 2 : longueur du kyste, 3 : longueur du cou) (Originale).

II.1.2.2. Juvéniles

L'étude morphométrique a été effectuée sur 10 juvéniles du deuxième stade J2 de chaque population. Ces juvéniles ont été isolés à partir des kystes analysés morphologiquement. En effet, lors de la coupe du kyste pour séparer la région périnéale, les œufs et les juvéniles (J2) ont été également relâchés à l'extérieur dans l'eau distillée. Les juvéniles sont ensuite recouverts d'une lamelle pour une observation plus approfondie sous le

microscope optique Olympus BX-41. Au total, 7 critères morphométriques ont été pris en considération sur les juvéniles: la longueur du stylet, la forme des boutons basaux du stylet, la longueur du corps, largeur du corps, largeur du corps au niveau de l'anus, longueur de la queue et longueur de la partie hyaline de la queue. Les rapports a (longueur du corps/largeur du corps), c (longueur du corps/longueur de la queue) et c' (longueur de la queue/largeur du corps au niveau de l'anus)) ont été aussi déterminés.

Toutes les photos et les mesures (en micromètre) ont été faites sous le microscope optique Olympus BX-41 à l'aide du logiciel d'image ProgResSpeedXT core 5–Jenoptik.

L'identification morphométrique des espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre d'une population a été faite par la combinaison des critères morphométriques des régions périnéales (le diamètre de fenestre vulvaire, la distance entre l'anus et le fenestre vulvaire, le nombre de stries entre l'anus et le fenestre vulvaire et le rapport de Granek) et des juvéniles du deuxième stade (la longueur de stylet et la forme des boutons basaux de stylet) de la même population. Cela par la comparaison de ces caractéristiques avec celles de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* proposées dans les critères de détermination de Fleming et Powers (1998) et OEPP (2013).

II.1.3. Analyse moléculaire

Afin de compléter et confirmer l'identification morphométrique des espèces de *Globodera* de différentes populations algériennes, une investigation moléculaire a été réalisée par deux tests; la PCR conventionnelle et la PCR en temps réel TaqMan.

II.1.3.1. Extraction de l'ADN

L'ADN génomique a été extrait des nématodes selon le protocole de Bulman et Marshall (1997). Un nombre de 20 kystes par population a été transféré dans un tube Eppendorf de 1,5 ml. Une quantité de 200 µl de tampon d'extraction a été ajouté (concentration finale est 5 M d'isothiocyanate de guanidine, 10 mM EDTA, 50 mM Tris-HCl (pH 7,5)). Les kystes ont été préalablement broyés à l'aide d'un pilon en plastique stérile, puis 8 µl de mercaptoéthanol ont été ajoutés. Les échantillons ont été ensuite incubés à température ambiante pendant environ 60 minutes sans agitation. Après l'incubation, 200 µl de phénol et 200 µl de chloroforme: alcool isoamylique (24: 1) ont été ajoutés, puis centrifugés à une vitesse de rotation de 13000 tr / min pendant 10 minutes afin de séparer les deux phases aqueuse et liquide. Après avoir transféré la phase aqueuse dans nouveau tube, un

volume égal de chloroforme: alcool isoamylique (24: 1) a été ajouté, puis centrifugé de nouveau à 13000 tr / min pendant 10 minutes. Après la centrifugation, la phase aqueuse a été transférée dans un autre tube pour la précipiter en ajoutant 200 ml d'acétate de sodium 0,3 M et 2 volumes d'éthanol. L'échantillon est ensuite centrifugé. Après la centrifugation, la phase liquide est éliminé et l'ADN précipité et séché puis remis en suspension dans 100 µl de tampon TE.

Enfin, l'ADN extrait a été conservé à -20 °C jusqu'à leur utilisation.

II.1.3.2. Réaction en chaîne par polymérase conventionnelle (PCR conventionnelle)

Afin de distinguer entre les espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre, le test PCR multiplex développé par Bulman et Marshall (1997) a été réalisé. Deux amorces spécifiques: PITSr3 pour *Globodera rostochiensis* et PITSp4 pour *Globodera pallida* et une amorce commune ITS5 ont été considérées (Tableau 13). Ces amorces sont utilisées pour amplifier la région interne transcrite ITS1 de l'ADN ribosomique de nématodes qui est située entre le gène 18 S et 5.8 S.

Les réactions de PCR ont été effectuées dans un volume final de 25 µl. Le mélange réactionnel de PCR est décrit dans le tableau 12. Ces réactions ont été effectuées dans un thermocycleur Biometra TGradient (Biometra, Göttingen, Allemagne) dans les conditions d'amplification suivantes: Une étape initiale de dénaturation à 94 ° C pendant 2 minutes, suivie de 35 cycles à 94 ° C pendant 30 secondes, à 55 °C pendant 30 secondes et à 72 °C pendant 30 secondes, et un cycle d'allongement final à 72 °C pendant 7 minutes (OEPP, 2013).

Des contrôles positifs (témoins positifs) pour chaque espèce et des contrôles négatifs de l'eau distillée et l'eau de qualité moléculaire (sans ADN) ont été inclus dans toutes les amplifications.

Le contrôle positif contient tous les éléments du mélange réactionnel, ainsi qu'un extrait d'ADN de la cible ; ce contrôle permet de vérifier que la réaction de PCR s'est déroulée de façon correcte et a permis une amplification des échantillons contenant la cible.

Le contrôle négatif contient tous les éléments du mélange réactionnel mais aucun extrait d'ADN n'est ajouté ; cela permet de vérifier l'absence de contamination au cours de la réaction de PCR.

Les produits amplifiés ont été séparés par électrophorèse (BIO-RAD, SUB-CELL® GT) sur gel d'agarose à 1,5% contenant 1,5 g d'agarose et 100 ml de tampon tris-acétate-EDTA 1X (TAE). Après la séparation, le gel a été coloré dans un bain contenant la solution de GelRed™ (150 µl de GelRed, 50 ml de NaCl à 1M, 450 ml de H₂O) pendant 10 minutes environ, puis visualisé et photographié à la lumière ultraviolette.

Les produits amplifiés donnent des fragments de 265 pb pour *Globodera pallida* et 434 pb pour *Globodera rostochiensis*.

Tableau 12. Composants et volumes respectifs dans le mélange réactionnel de PCR.

| Composant | Volume par réaction (µl) |
|--|--------------------------|
| Tampon Taq 5X | 5 |
| MgCl ₂ (25 mM) | 2 |
| dNTP (CTP, ATP, GTP, TTP) (10 mM chacun) | 0,40 |
| Amorce directe ITS5 (10 Mm) | 0,625 |
| Amorce inverse PITSp4 (10 Mm) | 0,625 |
| Amorce inverse PITSr3 (10 Mm) | 0,625 |
| Taq DNA polymerase | 0,50 |
| Eau de qualité moléculaire | 10,23 |
| ADN | 5 |
| Volume total | 25 |

II.1.3.3. Réaction en chaîne par polymérase en temps réel TaqMan (PCR en temps réel TaqMan)

Comme confirmation supplémentaire de l'identification des espèces de *Globodera* de différentes populations par la méthode morphométrique, un test de PCR en temps réel Taqman a été appliqué. Le protocole suivi est celui proposé par l'OEPP (2017).

Ce test cible l'amplification de la région interne transcrite 1 (ITS1) de l'ADN ribosomique de nématodes. Pour cette amplification, deux amorces sont utilisées: amorce directe Glob 531F et amorce inverse Glob 601R et deux sondes, l'une pour *Globodera pallida* GP LNA marquée avec le reporter FAM et l'extincteur BHQ-1 et l'autre pour *Globodera rostochiensis*

GR LNA marquée avec le reporter TET et l'extincteur BHQ-1. Les séquences des amorces et des sondes sont résumées dans le tableau 13.

Les réactions PCR en temps réel ont été réalisées dans un volume total de 20 µl contenant 3 µl de l'ADN extrait des kystes, 10 µl tampon Taq 2X, 0,38 µl de chaque amorce (10mM), 0,50 µl de sonde GP LNA (10 mM), 1,00 µl de sonde GR LNA (10 mM) et 4,75 µl de l'eau.

Les réactions de l'amplification sont effectuées dans une plaquette des puits couverte avec un film Adhésif "Microseal" et placée dans un thermocycleur BIO-RAD. Le protocole d'amplification comprend les étapes suivantes : Une étape initiale de dénaturation de 2 min à 50 °C suivie de 40 cycles de 10 minutes à 95 °C, de 15 minutes à 95 °C et une étape finale d'une minute à 60 °C de rampe de chauffage et de refroidissement à 100%.

Chaque réaction de PCR TaqMan a été effectuée avec deux répétitions pour chaque échantillon. Des contrôles négatifs de l'eau distillée et de l'eau de qualité moléculaire (sans matrice d'ADN) ont été inclut dans la réaction.

La fluorescence (FAM et TET) émise par les sondes est mesurée à toutes les étapes et les cycles. Le logiciel de détection de séquence a été utilisé pour générer les courbes d'amplification pour chaque réaction. Le nombre de cycles seuil (Ct) a également été calculé avec la moyenne et l'écart type et un réglage automatique de la ligne de base.

Tableau 13. Séquences des amorces et des sondes TaqMan utilisées dans les réactions de PCR conventionnelle et de PCR en temps réel pour *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*

| Type de PCR | Amorce/sonde utilisées | Séquences 5'-3' | Référence |
|--------------------------|--|---|--------------------------|
| PCR multiplex | PITSr3 PITSp4 ITS5 | AGCGCAGACATGCCGCAA ACAACAGCAATCGTCGAG GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG | Bulman et Marshall, 1997 |
| PCR en temps réel TaqMan | Amorce directe Glob 531F Amorce inverse Glob 601R Probes GP LNA Probes GR LNA | TGT-AGG-CTG-CTA-YTC-CAT-GTY-GT CCA-CGG-ACG-TAG-CACACA-AG [FAM]TGCCGT-ACC-(C)(A)G-CGG-CAT[BHQ-1] [TET]GCC-GTA-CC(T)-(T)GC-GGC-AT[BHQ-1] | OEPP, 2017 |

II.2. Résultats et discussion

II.2.1. Résultats

II.2.1.1. Analyse morphométrique des nématodes à kystes de la pomme de terre

II.2.1.1.1. Examen morphologiques des nématodes à kystes de la pomme de terre

II.2.1.1.1.1. Kystes

Les observations microscopiques conduites sur les kystes de différentes populations étudiées montrent que ceux-ci présentent une forme pratiquement arrondie ou globuleuse avec un cou saillant et une couleur marron à brune. En outre, la taille des kystes est très variable. Ces variations morphologiques des kystes sont observées entre les populations et au sein de la même population. Ceci rend difficile la différenciation entre les espèces de *Globodera* sur la base de la coloration et la taille (Fig. 20).

Sur les régions périnéales des kystes étudiés, nous observons deux orifices espacés, l'un représentant le fenestre vulvaire et l'autre l'anus avec une marque de forme en V. L'anus se distingue aussi par son diamètre plus petit que celui de fenestre vulvaire. De plus, entre l'anus et le fenestre, des stries circulaires ont été observés. Cependant, la structure morphologique des régions périnéales des kystes ne permet toujours pas l'identification des espèces de *Globodera* (Fig. 21).

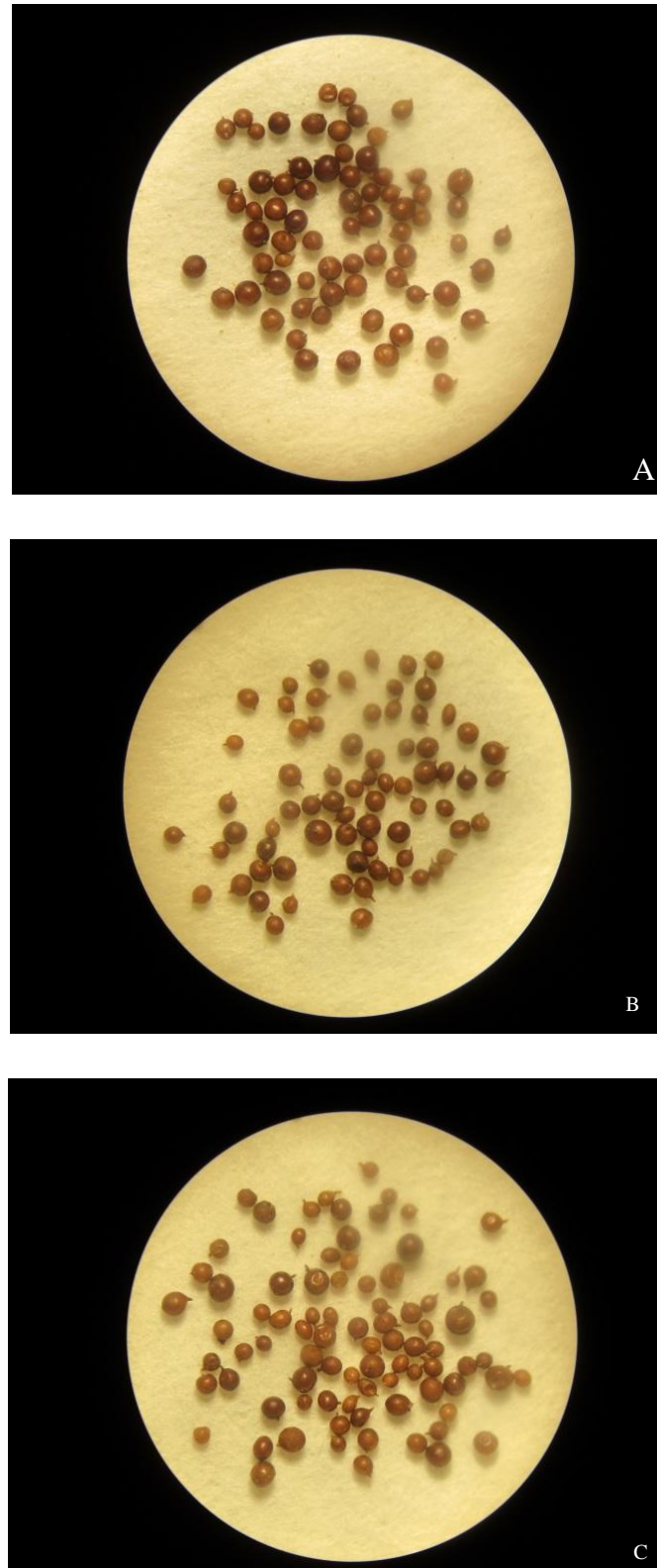


Figure 20. Kystes de différentes populations de nématodes à kystes de la pomme de terre observés sous la loupe binoculaire (G : 10×2) : **A** : *Globodera pallida* (Population 18 : Blida, Meftah, parcelle 3), **B** : *Globodera rostochiensis* (Population 32 : Tlemcen, Maghnia), **C** : Population mixte de deux espèces (Population 35 : Mila, Chelgoum Laid) (Originale).

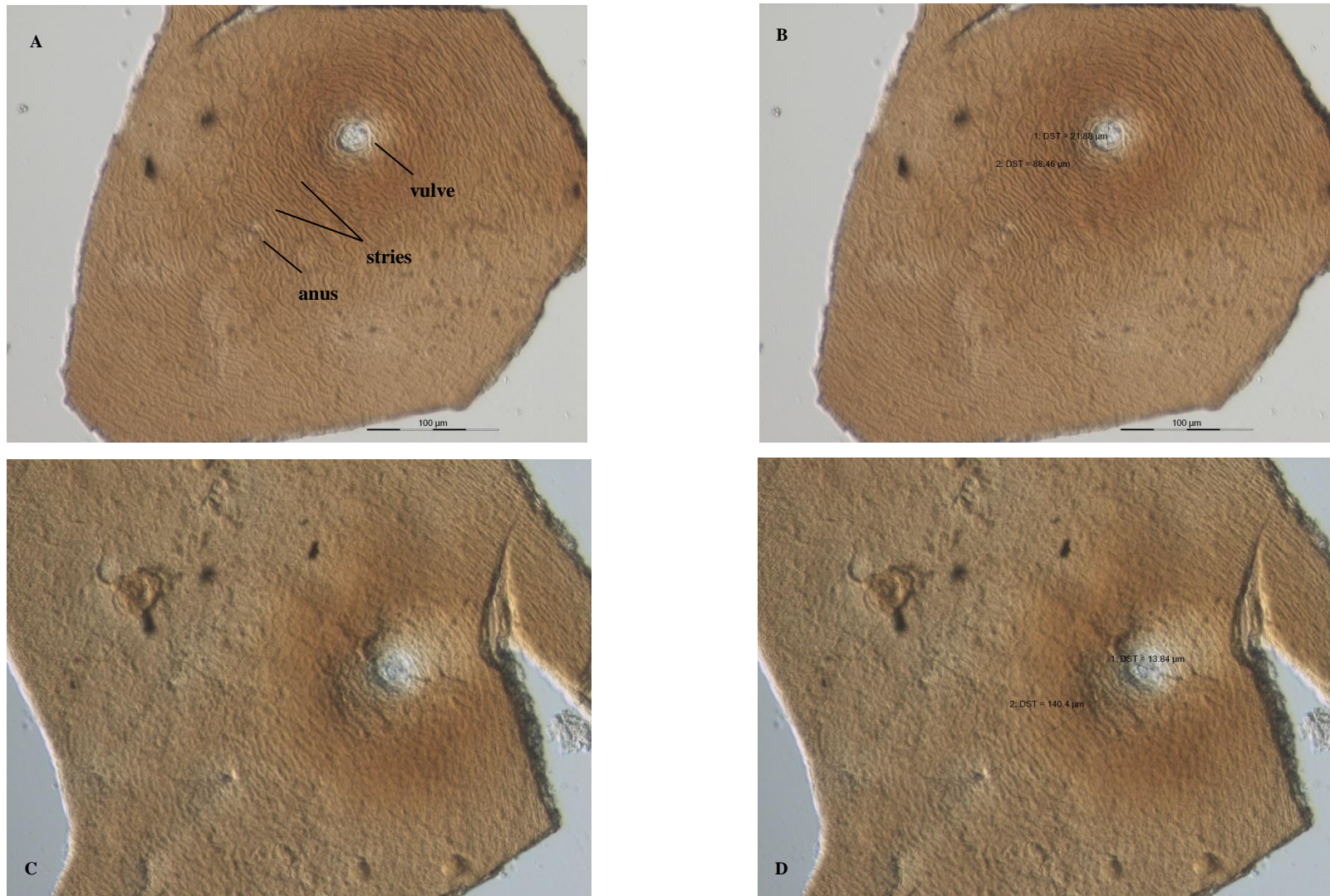


Figure 21. Régions périnéales des kystes de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* (A et B : *Globodera pallida*, population 10, Tipaza, Ain Tagourait, C et D : *Globodera rostochiensis*, population 30, El Oued, Hassi Khalifa, parcelle 2) (Originale).

II.2.1.1.1.2. Juvéniles

Les juvéniles du deuxième stade (J2) de deux espèces de *Globodera* présentent un corps vermiforme de couleur blanche et effilé au bout de la queue (Fig. 22).

Chez les deux espèces de nématodes, la tête est arrondie. La bouche contient un stylet bien développé avec des boutons basaux arrondis chez *Globodera rostochiensis* et pointus chez *Globodera pallida* (Fig. 23).



Figure 22. Juvéniles du deuxième stade de nématodes à kystes de la pomme de terre : **A** : *Globodera rostochiensis* (population 23, Chlef, Oued Fares, parcelle1, **B** : *Globodera pallida* (population 29 : Djelfa, Ain El Ibel) (Originale).

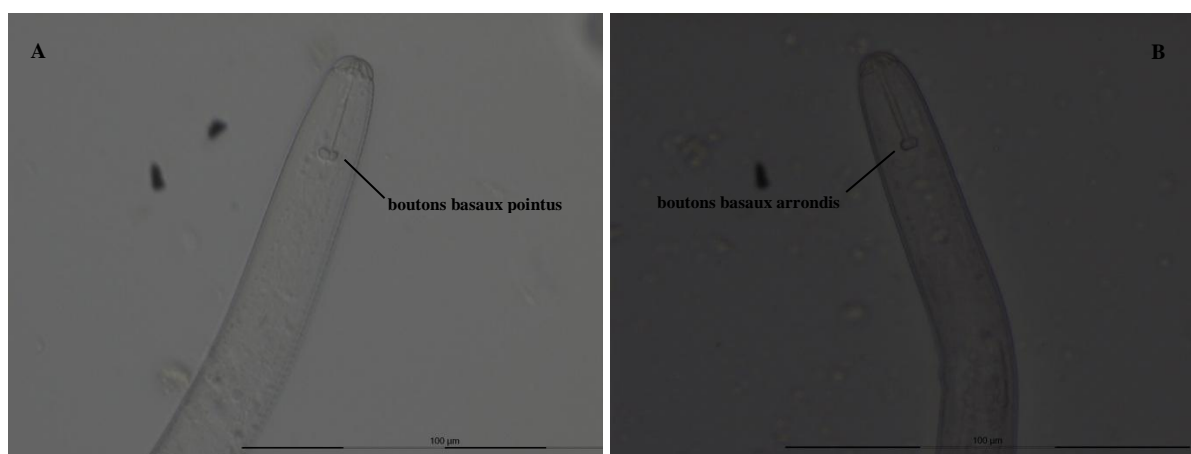


Figure 23. Forme des boutons basaux du stylet de nématodes à kystes de la pomme de terre : **A** : *Globodera pallida* (population 11 : Tipaza, Tipaza), **B** : *Globodera rostochiensis* (population 8, Mostaganem, Bouguirat) (Originale).

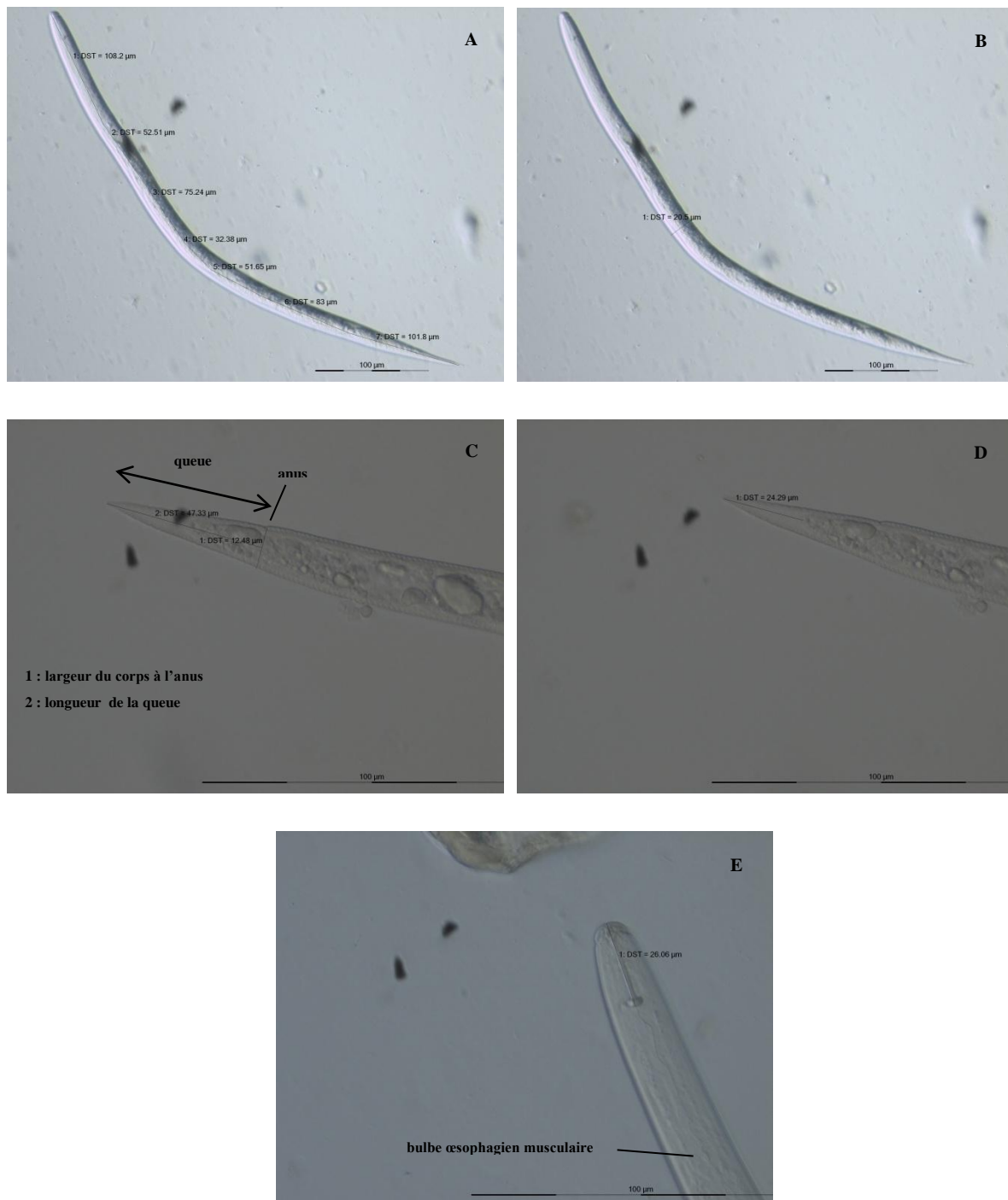


Figure 24. Mesures effectuées sur les juvéniles du deuxième stade de l'espèce *Globodera pallida* : **A** : longueur du corps (population 15), **B** : largeur du corps (population 15), **C** : largeur du corps à l'anus et longueur de la queue (population 10), **D** : longueur de la partie hyaline de la queue (population 10), **E** : longueur du stylet (population 15) (Originale).

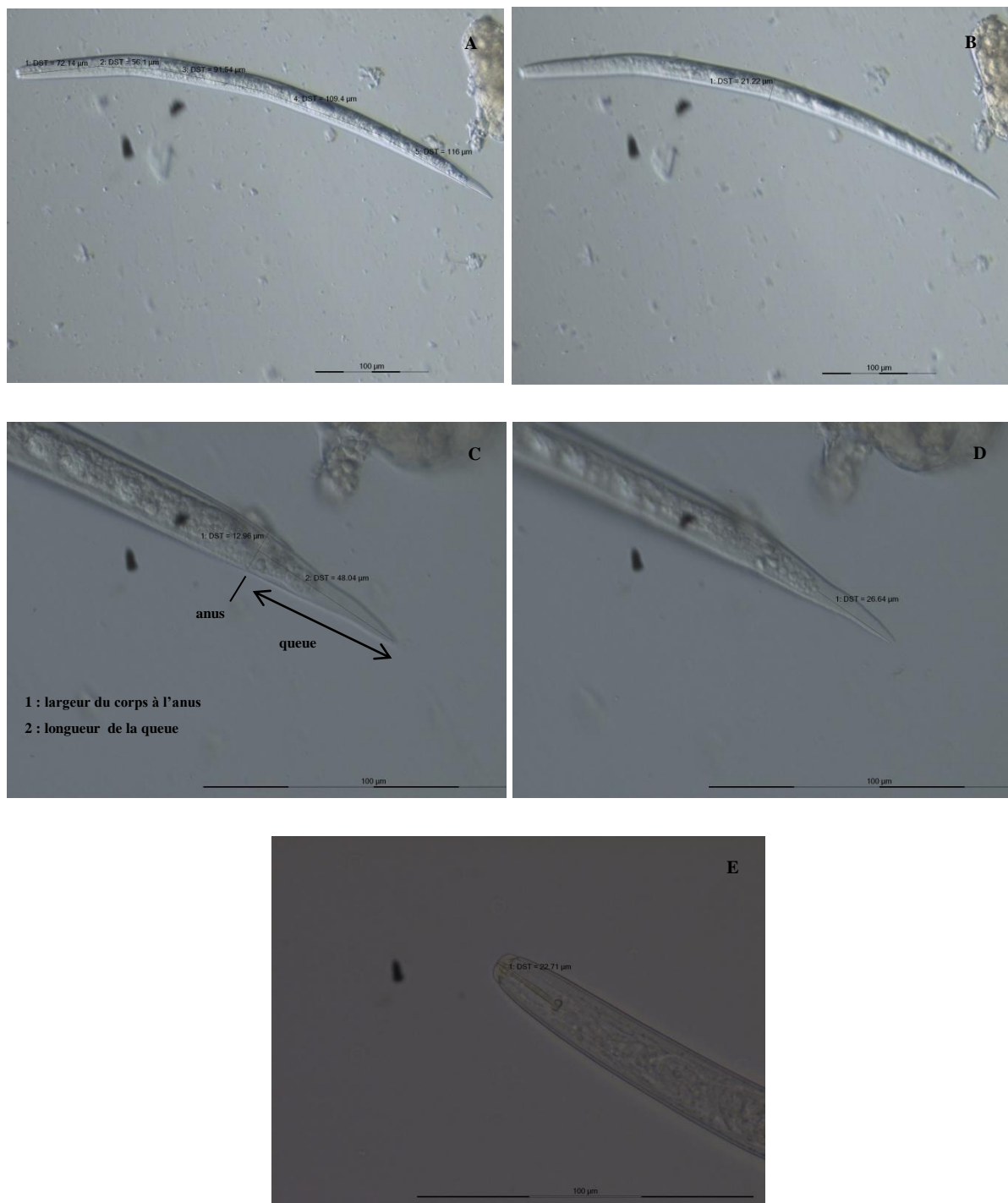


Figure 25. Mesures effectuées sur les juvéniles du deuxième stade de l'espèce *Globodera rostochiensis* : **A** : longueur du corps (population 3), **B** : largeur du corps (population 3), **C** : largeur du corps à l'anus et longueur de la queue (population 3), **D** : longueur de la partie hyaline de la queue (population 10), **E** : longueur du stylet (population 24) (Originale).

II.2.1.1.1.3. Œufs

Les œufs des espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre sont de forme rectangulaire et de couleur blanche. Les caractéristiques morphologiques des œufs ne permettent pas l'identification et la séparation entre les deux espèces de nématodes.

II.2.1.1.2. Données morphométriques des nématodes à kystes de la pomme de terre

L'analyse morphométrique a été effectuée sur 360 kystes et 360 juvéniles du deuxième stade provenant de 36 populations algériennes de nématodes à kystes de la pomme de terre. Les moyennes des critères morphométriques calculées sont regroupées avec celles de Fleming et Powers (1998) et OEPP (2013) dans les tableaux 14 et 15.

Les résultats obtenus sur 17 critères morphométriques mettent en évidence une nette différence entre les populations étudiées. La comparaison des données relatives aux critères morphométriques utilisés dans l'identification des espèces de *Globodera* (le diamètre de fenestre vulvaire, la distance entre le fenestre et l'anus, le nombre de stries entre le fenestre et l'anus, le rapport de Granek, la longueur de stylet et la forme des boutons basaux du stylet) avec celles présentées par Fleming et Powers (1998) et OEPP (2013), montre que les populations analysées se répartissent en trois groupes :

Premier groupe : Il se compose de 16 populations: 9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-26 et 29. Les caractéristiques morphométriques des spécimens analysés sont conformes et similaires à celles de l'espèce *Globodera pallida* mentionnées dans la littérature (Fleming et Power, 1998 ; OEPP, 2013). Les mesures et les moyennes calculées sur les caractères morphométriques utilisés dans l'identification sont regroupées dans les intervalles des valeurs de *Globodera pallida*. Cependant, quelques variations ont été notées et restent discutables. Les moyennes du diamètre de fenestre vulvaire de la plupart des populations sont supérieures (>21 µm) à la valeur maximale de *Globodera pallida* (21 µm). Presque toutes les valeurs extrêmes du diamètre de fenestre vulvaire se retrouvent en dehors de l'intervalle de *Globodera pallida*. Les limites supérieures de la distance anus-fenestre pour toutes les populations sauf la population 15 sont largement supérieures à celles définies pour l'espèce *Globodera pallida* qui sont de l'ordre de 67µm. La longueur maximale du stylet pour les populations 9 et 17 sont respectivement de 27,2 et de 27,6 µm et sont légèrement supérieures à celle rapportée pour *Globodera pallida* (26 µm).

A partir des données morphométriques acquises dans cette analyse, il apparaît clairement que ces populations de nématodes présentent l'espèce unique *Globodera pallida*.

Deuxième groupe : Il se compose de 10 populations; 3-7-23-24-25-27-28-30-32 et 34. Les caractéristiques morphométriques des kystes et des juvéniles étudiés sont conformes et similaires à celles proposées pour *Globodera rostochiensis* par Fleming et Power (1998) et OEPP (2013). Les mensurations et les moyennes calculées se situent dans les intervalles des valeurs de *Globodera rostochiensis*, mais quelques différences ont été notées. Les moyennes de la distance anus-vulve et du diamètre de la vulve des populations 27-28 et 30 d'origine de la région d'El Oued dépassent les valeurs maximales rapportées pour *Globodera rostochiensis*. De même, les limites supérieures de la distance anus-vulve de toutes les populations sauf les populations 25 et 32 dépassent largement les valeurs maximales attendues pour *Globodera rostochiensis* (77 μm). La valeur maximale du diamètre de la vulve de toutes les populations dépasse celle de *Globodera rostochiensis* (20 μm). La longueur maximale du stylet pour les populations 24-27-28-30 reste légèrement supérieure à celle proposée pour *Globodera rostochiensis* (23 μm).

Sur la base de ces caractéristiques, on peut dire que ces populations renferment uniquement l'espèce *Globodera rostochiensis*.

Troisième groupe : Il inclut 10 populations; 1-2-4-5-6-8-31-33-35 et 36. Dans chacune des populations, certains spécimens présentent les caractéristiques de *Globodera pallida* et d'autres présentent les caractéristiques de *Globodera rostochiensis*. Les mensurations et les moyennes calculées sur les critères morphométriques sont situées soit dans les intervalles de *Globodera pallida* ou *Globodera rostochiensis* ou dans les deux ensemble. Parfois la moyenne calculée est située dans l'intervalle d'une espèce mais les valeurs extrêmes ne correspondent pas à cette espèce. Les limites supérieures de la distance anus-vulve de toutes les populations exception pour la population 2 où ils dépassent largement celles proposées pour les deux espèces. Les valeurs maximales du diamètre de la vulve de toutes les populations exception pour les populations 2 et 36 dépassent celles de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis*. La longueur maximale du stylet de la population 8 et 35 est dépassé légèrement celle rapportée pour les espèces de *Globodera*. Les deux formes des boteux basaux des stylets pointus et arrondis qui caractérisent *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* respectivement sont présentes dans toutes les populations.

La combinaison des caractéristiques des régions périnéales et des juvéniles nous a permis de dire que ces populations sont mixtes, elles renferment les deux espèces de *Globodera*. Nous considérons que les deux espèces présentent une sympatrie dans divers sites prospectés. Une distribution des populations s'effectue stratégiquement en relation avec les facteurs environnementaux.

Tableau 14. Données de mensuration (en μm , à l'exclusion le rapport de Granek) des caractères morphométriques des kystes de 36 populations algériennes de nématodes de la pomme de terre (elles sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-type, $n=10$ kystes par population et les valeurs extrêmes sont données entre parenthèses).

| Code de la population | Longueur du corps | Largueur du corps | Longueur du cou | Nombre de stries entre l'anus et le fenestre vulvaire | Distance entre l'anus et le fenestre vulvaire | Diamètre de fenestre vulvaire | Rapport de Granek | Identification de l'espèce |
|--------------------------------|--|--|--------------------------------------|---|---|-----------------------------------|--------------------------------|---|
| Populations algériennes | | | | | | | | |
| 1 | 555,58 \pm 53,82 (452,90-614,20) | 511,21 \pm 70,27 (408,50-611,30) | 73,07 \pm 21,33 (48,69-113,18) | 14,40 \pm 4,00 (9-23) | 67,60 \pm 19,30 (41,67-112,60) | 20,52 \pm 3,16 (16,66-24,46) | 3,38 \pm 1,21 (2,14-6,18) | <i>Globodera pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 2 | 545,51 \pm 82,92 (421,80-649,10) | 508,93 \pm 75,29 (384,30-587,30) | 96,49 \pm 47,46 (37,19-182,80) | 12,60 \pm 2,41 (10-17) | 52,64 \pm 7,43 (43,54-68,65) | 16,19 \pm 2,48 (13,54-20,36) | 3,29 \pm 0,52 (2,19-4,10) | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 3 | 596,83 \pm 65,27 (520,90-703,20) | 560,72 \pm 64,28 (481,50-568,20) | 107,21 \pm 39,06 (55,60-159,90) | 18,00 \pm 2,86 (16-24) | 64,18 \pm 12,15 (50,64-90,11) | 19,36 \pm 3,87 (13,20-24,41) | 3,45 \pm 1,08 (2,26-5,92) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 4 | 542,96 \pm 69,55 (431,90-650,30) | 488,94 \pm 68,42 (391,20-587,70) | 102,39 \pm 30,27 (64,05-154,70) | 16,40 \pm 4,57 (10-21) | 67,28 \pm 24,29 (43,08-90,20) | 18,02 \pm 4,19 (13,45-24,94) | 3,92 \pm 1,26 (2,09-6,41) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 5 | 525,00 \pm 42,11 (465,40-582,1) | 505,24 \pm 62,45 (431,80-618,00) | 89,65 \pm 42,91 (40,90-190,14) | 15,40 \pm 3,59 (11-22) | 73,13 \pm 15,37 (45,79-100,50) | 17,21 \pm 2,91 (13,60-22,58) | 4,39 \pm 1,23 (2,02-6,13) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 6 | 553,58 \pm 59,92 (458,90-638,10) | 472,12 \pm 97,81 (309,40-609,00) | 84,17 \pm 37,16 (42,08-159,30) | 12,40 \pm 3,16 (8-18) | 61,96 \pm 15,08 (49,47-90,35) | 17,20 \pm 3,68 (13,13-23,25) | 3,70 \pm 1,02 (2,19-5,83) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 7 | 505,05 \pm 85,52 (341,70-587,10) | 458,55 \pm 80,87 (312,40-568,10) | 135,57 \pm 39,33 (83,52-177,80) | 19,00 \pm 4,47 (13-25) | 71,94 \pm 17,32 (45,30-93,80) | 17,55 \pm 3,92 (13,67-26,78) | 4,15 \pm 1,01 (2,51-5,52) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 8 | 588,54 \pm 109,59 (418,00-732,20) | 534,60 \pm 81,15 (396,80-622,80) | 109,89 \pm 52,29 (41,19-191,70) | 15,60 \pm 5,27 (9-24) | 70,60 \pm 18,62 (51,01-102,30) | 20,14 \pm 3,09 (14,46-25,33) | 3,56 \pm 0,98 (2,11-4,59) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 9 | 508,06 \pm 54,48 (422,70-588,20) | 406,60 \pm 57,89 (336,00-496,00) | 113,03 \pm 33,94 (71,13-190,00) | 12,60 \pm 3,06 (8-18) | 53,20 \pm 7,87 (38,51-63,75) | 19,75 \pm 4,25 (14,14-26,82) | 2,75 \pm 0,44 (2,36-3,25) | <i>G. pallida</i> |
| 10 | 502,52 \pm 110,79 (346,30-727,00) | 474,33 \pm 86,61 (337,70- 631,70) | 100,51 \pm 53,21 (35,53-197,60) | 14,00 \pm 4,39 (8-19) | 63,41 \pm 20,03 (38,25-91,10) | 23,25 \pm 5,35 (17,18-30,12) | 2,74 \pm 0,68 (1,40-3,44) | <i>G. pallida</i> |
| 11 | 570,07 \pm 45,79 (499,20 -632,40) | 547,58 \pm 61,61 (454,00-633,10) | 108,97 \pm 41,22 (60,23-169,00) | 12,30 \pm 3,05 (8-18) | 57,10 \pm 15,00 (38,42-89,43) | 21,03 \pm 4,14 (16,01-27,92) | 2,71 \pm 0,47 (1,99-3,35) | <i>G. pallida</i> |

| | | | | | | | | |
|----|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 12 | 539,74±61,82 (468,10- 671,50) | 516,89±64,43 (443,80- 654,40) | 86,11±29,10 (45,35-150,30) | 13,60±3,37 (9-18) | 59,72±14,00 (39,38-85,10) | 23,53±6,06 (16,48-33,43) | 2,56±0,39 (2,02- 3,28) | <i>G. pallida</i> |
| 13 | 543,83±67,68 (477,50-627,70) | 542,07±74,14 (442,20- 624,70) | 77,62±25,96 (48,84-130,60) | 14,00±3,12 (8-18) | 63,26±13,62 (47,30-85,75) | 23,28±4,61 (18,03-30,58) | 2,71±0,25 (2,45-3,27) | <i>G. pallida</i> |
| 14 | 570,88±77,64 (375,40- 638,70) | 522,56±80,02 (356,70-613,00) | 90,83±46,74 (40,07-182,50) | 13,00±3,68 (9-19) | 55,20±12,08 (40,15-77,32) | 23,00±5,26 (18,09-34,85) | 2,41±0,32 (1,91-3,14) | <i>G. pallida</i> |
| 15 | 550,88±79,32 (473,60-704,50) | 487,93±83,34 (324,30-604,70) | 76,15±23,17 (51,88-122,80) | 12,20±1,98 (10-16) | 52,69±7,43 (40,43-62,14) | 21,35±3,42 (15,73-25,97) | 2,48±0,35 (1,95-3,08) | <i>G. pallida</i> |
| 16 | 489,56±56,67 (405,20-566,93) | 449,74±74,58 (335,40-548,30) | 78,55±30,95 (42,26-130,50) | 13,60±2,11 (11-17) | 56,59±9,17 (42,79-68,79) | 23,35±6,39 (14,46-32,95) | 2,50±0,45 (1,80-3,23) | <i>G. pallida</i> |
| 17 | 550,49±72,76 (436,20-638,80) | 522,45±65,39 (395,00-588,70) | 83,17±21,19 (63,05-133,60) | 12,00±3,23 (8-18) | 56,14±8,11 (44,55-69,45) | 23,46±5,09 (16,82-30,37) | 2,46±0,53 (2,01-3,55) | <i>G. pallida</i> |
| 18 | 484,97±80,76 (364,20-609,50) | 467,20±82,37 (336,50-580,70) | 71,11±26,60 (32,93-98,11) | 12,50±2,54 (9-17) | 58,96±10,19 (45,35-73,04) | 22,15±4,86 (15,03-31,66) | 2,73±0,58 (1,92-3,41) | <i>G. pallida</i> |
| 19 | 479,07±47,65 (414,60-560,10) | 472,68±58,19 (365,30- 560,00) | 67,63±34,06 (27,25-114,60) | 11,90±3,17 (8-16) | 55,88±15,22 (36,49-84,46) | 23,26±6,97 (13,97-31,20) | 2,47±0,53 (1,92-3,57) | <i>G. pallida</i> |
| 20 | 496,95±81,82 (348,60-599,20) | 450,02±88,74 (311,40-601,20) | 84,94±33,35 (44,82-160,80) | 14,00±2,53 (11-18) | 61,65±9,67 (44,00-76,94) | 20,77±3,46 (14,65-27,46) | 2,98±0,41 (2,45-3,51) | <i>G. pallida</i> |
| 21 | 526,53±109,39 (327,00-676,90) | 499,31±101,63 (314,10-621,90) | 75,79±19,50 (44,36-99,32) | 11,70±2,58 (8-15) | 59,08±11,74 (38,10-75,86) | 22,71±3,55 (16,05-28,28) | 2,61±0,46 (1,78-3,11) | <i>G. pallida</i> |
| 22 | 476,28±69,30 (380,00-558,80) | 448,90±64,64 (389,40-519,50) | 104,73±45,05 (49,22-178,80) | 13,40±2,71 (9-18) | 63,56±11,21 (48,90-87,91) | 23,40±4,57 (16,87-30,42) | 2,74±0,36 (2,24-3,39) | <i>G. pallida</i> |
| 23 | 492,06±55,62 (399,10-566,80) | 462,51±79,91 (318,80-588,00) | 89,70±26,93 (57,82-127,00) | 18,50±2,67 (15-23) | 62,84±11,13 (44,88-87,76) | 18,27±4,14 (14,00-25,07) | 3,60±1,06 (2,12-5,25) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 24 | 466,07±119,40 (302,40-617,10) | 457,41±115,88 (301,50- 607,70) | 89,70±26,93 (45,05-150,60) | 20,00±4,42 (13-26) | 75,16±20,48 (51,62-118,40) | 19,78±4,78 (14,00-28,54) | 4,00±1,45 (3,04-6,74) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 25 | 463,87±59,56 (346,10-570,80) | 430,83±62,82 (367,90-594,10) | 76,92±26,01 (27,25-105,10) | 18,30±2,83 (12-21) | 60,38±5,90 (46,97-68,03) | 17,13±3,37 (13,68-23,14) | 3,66±0,86 (2,45-4,72) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 26 | 560,12±58,21 (478,60-668,80) | 523,01±53,45 (452,20-639,80) | 118,93±25,84 (71,32-150,20) | 12,00±3,12 (9-18) | 54,23±15,08 (37,23-78,83) | 23,91±4,64 (17,13-31,02) | 2,25±0,36 (1,83-3,03) | <i>G. pallida</i> |
| 27 | 528,39±80,20 (366,70-654,10) | 514,73±88,72 (344,00-635,50) | 96,28±40,03 (43,60-150,40) | 22,00±3,36 (17-28) | 92,69±27,25 (60,18-153,60) | 22,02±4,03 (17,37-27,94) | 4,26±1,23 (2,90-6,22) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 28 | 563,86±57,37 (493,60-660,90) | 561,72±43,34 (474,50-614,50) | 76,59±23,05 (46,11-114,40) | 22,20±4,28 (16-28) | 99,95±28,19 (65,05-145,30) | 22,31±3,96 (15,94-27,94) | 4,54±1,14 (3,32-6,76) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 29 | 457,03±54,06 | 418,43±63,26 | 106,34±36,46 | 12,10±1,96 | 52,42±10,04 | 21,35±4,34 | 2,53±0,64 | <i>G. pallida</i> |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| | (392,90-547,90) | (316,40-509,30) | (71,44-195,20) | (9-15) | (39,31-70,64) | (15,07-28,41) | (1,64-3,41) | |
| 30 | 537,24±88,93 (373,50-669,40) | 497,19±77,13 (357,90-599,60) | 60,80±19,21 (40,65-97,35) | 21,70±3,74 (16-27) | 90,14±23,75 (57,98-140,4) | 22,15±3,50 (16,73-27,68) | 4,21±1,51 (2,46-6,73) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 31 | 599,11±48,06 (536,50-674,50) | 580,35±49,07 (500,00-640,30) | 103,99±32,42 (55,33-153,20) | 14,50±4,81 (8-22) | 65,96±18,91 (40,25-96,21) | 21,19±3,20 (16,08-25,63) | 3,30±1,12 (2,12-5,98) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 32 | 527,95±49,05 (458,00-621,30) | 509,60±50,79 (441,60-599,00) | 78,88±23,02 (47,43-127,10) | 17,70±4,21 (12-23) | 59,60±8,75 (48,58-75,75) | 19,82±3,58 (14,35-24,84) | 3,15±0,95 (2,40-5,27) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 33 | 565,83±66,73 (468,70-674,00) | 524,52±58,17 (444,60-614,30) | 99,83±28,71 (65,51-165,10) | 12,70±5,01 (8-23) | 56,67±21,78 (38,24-103,20) | 17,70±3,19 (13,44-24,47) | 3,23±1,20 (2,11-5,74) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 34 | 496,46±72,41 (394,00-634,70) | 469,80±72,21 (368,80-632,70) | 84,48±19,70 (65,73-122,40) | 17,00±4,08 (12-24) | 60,63±13,80 (40,94-80,75) | 17,04±2,73 (13,66-22,47) | 3,51±0,59 (2,97-4,63) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 35 | 510,29±49,47 (439,00-595,20) | 463,76±43,88 (400,40-546,60) | 88,63±24,67 (55,02-129,00) | 12,50±5,27 (8-25) | 60,13±23,54 (40,68-122,00) | 19,06±3,62 (13,60-23,38) | 3,21±1,16 (2,02-5,70) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 36 | 542,47±76,20 (443,80-667,40) | 494,76±86,68 (366,10-619,70) | 102,50±22,92 (68,37-137,70) | 14,10±5,21 (8-24) | 68,14±29,26 (32,19-130,60) | 17,37±2,21 (15,15-20,71) | 3,87±1,42 (2,00-6,50) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| Mesures de référence | | | | | | | | |
| Fleming et Power (1998) | * | * | * | 12-31 (>14) | 37-77 (>55) | 8-20 (<19) | 1.3-9.5 (>3) | <i>G. rostochiensis</i> |
| Fleming et Power (1998) | * | * | * | 8-20 (<14) | 22-67 (<50) | 18-21 (>19) | 1.2-3.5 (<3) | <i>G. pallida</i> |
| OEPP (2013) | * | * | * | 12 | 48-54 | * | 2.1-2.5 | <i>G. pallida</i> |
| OEPP (2013) | * | * | * | 17-20 | 51-70 | * | 3.0-4.5 | <i>G. rostochiensis</i> |
| OEPP (2013) | * | * | * | 12-17 | 51-54 | 18-20 | 2.5-3.0 | <i>G. pallida</i> |

G. : *Globodera* *: Pas de données

Tableau 15. Données de mensuration (en μm , à l'exclusion les rapports et la forme des boutons basaux du stylet) des caractères morphométriques des juvéniles du deuxième stade de 36 populations Algériennes de nématodes de la pomme de terre (elles sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-typs, n=10 juvéniles par population et les valeurs extrêmes sont données entre parenthèses).

| Code de la population | Longueur du stylet | Forme des boutons basaux du stylet ^A | Longueur du corps | Largeur du corps | Largeur du corps à l'anus | Longueur de la queue | Longueur de la partie hyaline de la queue | Rapport a | Rapport c | Rapport c' | Identification de l'espèce |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| Population algériennes | | | | | | | | | | | |
| 1 | 23,04 \pm 1,65 (20,30-25,80) | 1 et 2 | 442,56 \pm 34,10 (391,84-494,29) | 19,48 \pm 1,08 (18,20-21,02) | 11,86 \pm 0,61 (11,05-12,62) | 48,71 \pm 3,41 (42,57-54,51) | 25,16 \pm 2,37 (22,20-29,35) | 22,71 \pm 1,23 (19,90-24,08) | 9,09 \pm 0,66 (8,30-10,59) | 4,11 \pm 0,39 (3,51-4,76) | <i>G. palida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 2 | 22,88 \pm 0,97 (20,57-23,81) | 1 et 2 | 420,22 \pm 18,84 (390,84-458,55) | 19,45 \pm 0,81 (18,02-20,72) | 12,00 \pm 0,26 (11,51-12,41) | 43,52 \pm 4,02 (37,78-48,29) | 24,08 \pm 2,13 (20,80-27,94) | 21,63 \pm 1,28 (19,91-22,71) | 9,72 \pm 0,96 (8,31-11,23) | 3,62 \pm 0,28 (3,22-3,93) | <i>G. palida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 3 | 22,07 \pm 0,41 (21,17-22,75) | 1 | 445,33 \pm 27,54 (397,18-492,40) | 19,45 \pm 1,41 (17,28-21,66) | 12,00 \pm 0,53 (10,86-12,62) | 48,12 \pm 4,56 (40,60-54,08) | 25,86 \pm 2,69 (23,18-30,96) | 22,92 \pm 1,00 (20,37-24,22) | 9,28 \pm 0,55 (8,57- 0,23) | 4,00 \pm 0,28 (3,58-4,39) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 4 | 23,00 \pm 1,16 (20,87-24,76) | 1 et 2 | 416,56 \pm 11,29 (381,17-420,23) | 18,80 \pm 0,91 (16,90-20,16) | 11,58 \pm 0,61 (10,37-12,47) | 42,09 \pm 2,40 (39,18-45,95) | 23,51 \pm 2,43 (20,14-27,19) | 21,50 \pm 1,07 (19,76-22,88) | 9,62 \pm 0,66 (8,67-10,53) | 3,63 \pm 0,29 (3,14-3,96) | <i>G. palida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 5 | 22,10 \pm 0,88 (20,78-23,50) | 1 et 2 | 431,41 \pm 20,17 (389,57-459,33) | 19,78 \pm 0,69 (18,37-20,79) | 11,72 \pm 0,49 (11,16-12,70) | 45,06 \pm 5,00 (38,75-51,90) | 24,13 \pm 3,14 (20,62-27,66) | 21,80 \pm 0,91 (20,34-23,79) | 9,65 \pm 0,94 (8,16-10,93) | 3,83 \pm 0,41 (3,35-4,52) | <i>G. palida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 6 | 23,97 \pm 1,38 (20,81-26,03) | 1 et 2 | 414,86 \pm 14,90 (385,52-440,63) | 18,93 \pm 1,28 (16,94-20,75) | 11,51 \pm 0,48 (10,45-11,99) | 46,37 \pm 2,30 (43,05-50,29) | 25,30 \pm 1,89 (22,57-29,28) | 21,96 \pm 1,11 (20,10-23,45) | 8,96 \pm 0,59 (8,19-10,03) | 4,03 \pm 0,30 (3,60-4,40) | <i>G. palida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 7 | 21,89 \pm 0,75 (20,94-22,91) | 1 | 439,81 \pm 31,50 (393,87-488,68) | 19,60 \pm 0,91 (18,40-21,19) | 11,88 \pm 0,35 (11,45-12,46) | 47,19 \pm 4,55 (37,59-52,38) | 26,53 \pm 2,69 (22,05-30,44) | 22,43 \pm 1,36 (19,37-24,55) | 9,38 \pm 1,03 (8,21-11,11) | 3,97 \pm 0,41 (3,25-4,50) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 8 | 23,88 \pm 1,63 (21,25-27,06) | 1 et 2 | 423,34 \pm 21,85 (393,15-452,67) | 19,82 \pm 0,84 (18,44-21,02) | 12,08 \pm 0,51 (11,23-12,78) | 45,83 \pm 3,31 (37,48-48,50) | 24,00 \pm 2,29 (20,93-27,60) | 21,35 \pm 0,88 (19,96-22,35) | 9,26 \pm 0,59 (8,60-10,79) | 3,78 \pm 0,25 (3,12-3,96) | <i>G. palida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 9 | 24,33 \pm 1,26 (23,00-27,20) | 2 | 435,30 \pm 25,44 (401,05-489,63) | 19,78 \pm 1,01 (18,42-21,55) | 11,95 \pm 0,40 (11,42-12,51) | 47,07 \pm 2,33 (43,49-49,75) | 26,24 \pm 1,79 (22,85-29,42) | 22,02 \pm 1,20 (19,17-23,34) | 9,15 \pm 0,62 (8,19-9,96) | 3,93 \pm 0,22 (3,47-4,23) | <i>G. pallida</i> |
| 10 | 23,84 \pm 1,10 (22,08-25,37) | 2 | 422,24 \pm 17,75 (388,99-444,99) | 19,04 \pm 1,13 (17,10-20,61) | 11,50 \pm 0,51 (10,80-12,12) | 47,13 \pm 2,17 (42,29-49,29) | 24,34 \pm 1,94 (21,16-27,54) | 22,21 \pm 1,13 (20,19-23,84) | 8,95 \pm 0,31 (8,54-9,55) | 4,09 \pm 0,18 (3,87-4,44) | <i>G. pallida</i> |
| 11 | 24,40 \pm 0,86 (23,13-25,64) | 2 | 434,09 \pm 18,73 (405,82-463,94) | 19,50 \pm 1,16 (17,39-21,64) | 11,92 \pm 0,52 (10,65-12,74) | 49,71 \pm 4,17 (44,02-54,67) | 27,96 \pm 2,79 (22,54-31,12) | 22,29 \pm 1,16 (20,81-23,75) | 8,77 \pm 0,70 (8,07-10,23) | 4,17 \pm 0,40 (3,45-4,63) | <i>G. pallida</i> |
| 12 | 24,30 \pm 1,08 (23,02-26,07) | 2 | 457,79 \pm 18,06 (413,86-487,19) | 19,75 \pm 0,82 (18,50-21,17) | 12,00 \pm 0,40 (11,10-12,46) | 47,54 \pm 2,71 (43,87-52,44) | 26,42 \pm 2,01 (23,02-29,92) | 23,20 \pm 1,32 (21,45-25,49) | 9,80 \pm 0,64 (8,35-10,96) | 3,95 \pm 0,21 (3,61-4,31) | <i>G. pallida</i> |
| 13 | 23,46 \pm 0,87 (22,02-24,64) | 2 | 432,97 \pm 36,55 (382,05-499,24) | 19,09 \pm 1,26 (17,25-21,04) | 11,42 \pm 0,54 (10,65-12,33) | 45,09 \pm 5,03 (38,34-52,83) | 25,41 \pm 3,33 (21,30-29,63) | 22,66 \pm 1,03 (21,06-23,88) | 9,66 \pm 1,00 (8,44-10,84) | 3,94 \pm 0,44 (3,30-4,71) | <i>G. pallida</i> |
| 14 | 24,37 \pm 1,15 | 2 | 457,18 \pm 34,89 | 20,17 \pm 1,38 | 12,31 \pm 0,53 | 48,07 \pm 5,04 | 27,85 \pm 2,23 | 22,69 \pm 1,54 | 9,56 \pm 0,90 | 3,89 \pm 0,31 | <i>G. pallida</i> |

Deuxième chapitre : Identification morphométrique et moléculaire des nématodes à kystes de la pomme de terre

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------|--------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| | (22,34-25,93) | | (417,14-514,30) | (17,45-21,68) | (11,20-12,81) | (38,29-54,89) | (23,22-31,26) | (20,45-25,78) | (8,77-11,75) | (3,41-4,28) | |
| 15 | 24,18±1,28 (22,12-26,06) | 2 | 453,18±25,40 (414,05-490,20) | 20,09±1,28 (18,25-21,56) | 12,18±0,43 (11,52-12,81) | 50,29±2,48 (46,59-54,82) | 29,19±2,10 (26,11-31,24) | 22,56±0,59 (21,72-23,59) | 9,01±0,54 (8,43-9,87) | 4,12±0,20 (3,80-4,39) | <i>G. pallida</i> |
| 16 | 24,16±1,42 (21,72-26,11) | 2 | 461,92±33,51 (398,23-509,40) | 20,06±1,26 (18,20-21,58) | 12,22±0,29 (11,82-12,62) | 50,60±4,35 (44,11-57,57) | 29,00±2,01 (25,44-31,20) | 23,04±1,37 (21,01-24,64) | 9,16±0,79 (8,25-10,60) | 4,13±0,37 (3,67-4,77) | <i>G. pallida</i> |
| 17 | 24,52±1,38 (23,13-27,63) | 2 | 458,90±23,10 (418,04-492,74) | 19,93±1,16 (18,16-21,65) | 12,10±0,31 (11,68-12,54) | 50,88±4,59 (41,74-57,10) | 26,79±2,59 (24,34-31,76) | 23,05±1,34 (21,49-25,16) | 9,06±0,74 (7,69-10,65) | 4,20±0,34 (3,49-4,65) | <i>G. pallida</i> |
| 18 | 24,40±0,68 (23,36-25,42) | 2 | 435,38±38,98 (391,14-504,15) | 19,52±1,61 (17,11-21,49) | 11,86±0,57 (10,72-12,52) | 48,71±2,73 (45,71-53,78) | 27,43±1,81 (25,05-30,35) | 22,30±1,12 (19,80-23,86) | 8,94±0,81 (7,89-10,33) | 4,11±0,28 (3,65-4,62) | <i>G. pallida</i> |
| 19 | 24,42±0,85 (22,68-25,29) | 2 | 440,54±13,10 (421,00-461,04) | 19,43±0,97 (18,00-20,92) | 11,88±0,50 (11,12-12,72) | 47,42±3,46 (43,98-54,80) | 27,62±2,30 (24,68-31,18) | 22,70±1,09 (20,42-24,23) | 9,31±0,56 (7,95-9,79) | 3,99±0,32 (3,55-4,75) | <i>G. pallida</i> |
| 20 | 23,71±0,88 (21,79-24,43) | 2 | 444,54±20,55 (400,68-471,00) | 19,53±1,03 (17,98-21,43) | 11,92±0,38 (11,24-12,41) | 45,63±1,78 (43,42-48,27) | 23,90±2,66 (21,19-28,75) | 22,77±0,75 (21,77-23,90) | 9,74±0,52 (9,07-10,75) | 3,82±0,19 (3,52-4,20) | <i>G. pallida</i> |
| 21 | 24,33±1,03 (23,39-26,66) | 2 | 451,39±25,51 (423,28-496,18) | 20,10±1,09 (18,29-21,55) | 12,17±0,39 (11,64-12,65) | 50,74±3,15 (45,02-52,71) | 27,88±2,55 (24,12-31,87) | 22,47±1,12 (20,63-24,42) | 8,91±0,56 (8,24-9,91) | 4,16±0,29 (3,55-4,53) | <i>G. pallida</i> |
| 22 | 23,96±0,76 (22,43-25,13) | 2 | 448,53±35,70 (401,79-514,22) | 20,03±1,13 (18,25-21,41) | 11,90±0,47 (11,12-12,55) | 45,51±4,91 (35,85-51,86) | 25,06±2,95 (21,22-30,43) | 22,38±1,11 (19,59-24,01) | 9,91±0,93 (8,46-11,93) | 3,81±0,40 (3,00-4,34) | <i>G. pallida</i> |
| 23 | 21,92±0,77 (20,84-23,12) | 1 | 442,23±34,34 (391,37-485,06) | 18,96±1,07 (17,52-20,58) | 11,70±0,56 (11,01-12,47) | 44,70±4,17 (37,57-49,46) | 23,93±2,02 (21,26-27,00) | 23,10±1,49 (20,06-25,08) | 9,90±0,38 (9,22-10,49) | 3,81±0,27 (3,41-4,31) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 24 | 21,93±0,71 (21,10-23,33) | 1 | 434,95±29,43 (382,73-477,76) | 18,70±1,01 (17,47-20,89) | 11,52±0,50 (10,62-12,1) | 44,70±6,06 (35,83-53,65) | 24,31±3,72 (20,46-31,00) | 23,25±1,24 (21,90-24,32) | 9,81±0,80 (8,52-10,79) | 3,87±0,51 (3,31-4,66) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 25 | 22,26±0,66 (21,16-23,19) | 1 | 443,52±43,39 (379,17-508,68) | 19,51±1,50 (16,98-21,59) | 11,75±0,64 (10,42-12,50) | 46,61±2,27 (43,57-50,53) | 25,81±2,45 (22,85-30,13) | 22,70±1,09 (20,86-24,66) | 9,53±1,06 (8,05-11,43) | 3,96±0,26 (3,60-4,47) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 26 | 23,79±1,13 (22,00-25,44) | 2 | 450,99±37,44 (392,30-497,60) | 19,75±1,12 (17,50-21,23) | 11,90±0,38 (11,20-12,38) | 45,53±3,15 (40,28-50,00) | 26,53±2,68 (23,12-30,58) | 22,82±1,28 (21,10-24,78) | 9,94±1,04 (8,18-11,39) | 3,82±0,23 (3,53-4,14) | <i>G. pallida</i> |
| 27 | 23,01±0,44 (22,31-23,56) | 1 | 442,90±27,27 (400,54-487,36) | 19,4±1,00 (18,10-20,82) | 11,69±0,34 (11,16-12,01) | 45,39±3,82 (40,77-51,21) | 26,48±2,19 (24,26-30,76) | 22,81±0,65 (21,82-23,52) | 9,77±0,54 (8,58-10,61) | 3,87±0,24 (3,52-4,26) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 28 | 23,02±0,56 (22,01-23,58) | 1 | 464,96±34,31 (393,54-500,03) | 20,20±1,20 (18,59-21,65) | 12,41±0,53 (11,18-12,97) | 50,64±3,21 (44,87-53,75) | 29,40±2,12 (25,18-32,11) | 22,99±0,76 (21,16-23,81) | 9,18±0,55 (8,46-10,02) | 4,07±0,17 (3,76-4,31) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 29 | 24,07±0,88 (22,35-24,91) | 2 | 425,03±28,36 (394,00-471,88) | 19,17±1,26 (17,76-21,63) | 11,49±0,46 (11,00-12,49) | 45,42±1,89 (42,01-47,72) | 25,29±2,58 (20,44-29,06) | 22,17±0,76 (21,19-23,57) | 9,36±0,75 (8,60-10,83) | 3,95±0,27 (3,48-4,31) | <i>G. pallida</i> |
| 30 | 23,05±0,53 (21,72-23,57) | 1 | 456,09±20,69 (419,42-482,69) | 20,00±1,00 (18,19-21,28) | 12,31±0,45 (11,24-12,89) | 50,49±3,47 (44,49-55,74) | 27,63±2,72 (23,92-31,41) | 22,80±0,73 (21,79-24,43) | 9,06±0,70 (8,04-10,10) | 4,10±0,37 (3,49-4,63) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 31 | 22,46±0,75 (21,96-24,27) | 1 et 2 | 417,06±19,18 (394,49-444,20) | 19,46±1,05 (18,05-21,23) | 11,79±0,56 (11,14-12,64) | 46,14±6,29 (38,82-55,37) | 25,31±3,31 (20,65-30,62) | 21,45±1,15 (19,76-23,34) | 9,14±0,99 (7,62-10,23) | 3,89±0,54 (3,23-4,80) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 32 | 21,32±0,84 (20,19-22,91) | 1 | 440,62±34,03 (390,76-503,11) | 19,06±0,66 (17,69-20,71) | 11,81±0,74 (10,45-12,59) | 43,22±4,01 (37,28-51,08) | 23,65±2,48 (20,86-28,83) | 22,81±1,11 (20,80-24,29) | 10,21±0,54 (8,95-10,82) | 3,66±0,47 (3,16-4,88) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 33 | 22,17±1,06 (20,25-23,64) | 1 et 2 | 412,19±27,92 (379,22-458,40) | 18,48±1,07 (17,02-20,23) | 11,60±0,54 (10,71-12,40) | 42,06±2,31 (39,10-45,68) | 24,14±2,09 (20,60-27,78) | 22,29±0,65 (21,13-23,00) | 9,8±0,49 (9,14-10,51) | 3,62±0,24 (3,20-3,96) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 34 | 21,94±0,77 (20,02-22,73) | 1 | 413,46±7,84 (404,72-424,89) | 18,60±0,54 (17,44-19,34) | 11,38±0,41 (10,88-12,00) | 42,10±4,40 (37,33-50,97) | 23,49±2,38 (20,95-28,50) | 22,22±0,63 (21,37-23,28) | 9,90±1,01 (8,33-11,27) | 3,69±0,36 (3,22-4,24) | <i>G. rostochiensis</i> |
| 35 | 22,68±1,84 (20,42-26,51) | 1 et 2 | 436,95±33,89 (372,21-474,58) | 19,41±1,37 (16,98-21,16) | 11,93±0,71 (10,69-12,67) | 46,23±6,19 (35,71-54,76) | 24,75±3,86 (20,14-31,71) | 22,52±1,33 (20,19-24,51) | 9,53±0,90 (8,35-11,13) | 3,87±0,52 (3,29-4,87) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|--|
| 36 | 23,15±0,65 (21,70-23,78) | 1 et 2 | 450,98±15,18 (423,73-463,26) | 19,88±1,16 (18,54-21,64) | 12,11±0,48 (11,26-12,81) | 46,05±6,29 (38,30-55,39) | 24,38±2,87 (20,18-26,87) | 22,73±1,34 (20,20-24,96) | 9,91±1,09 (8,39-11,47) | 3,80±0,56 (3,16-4,91) | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| Mesures de référence | | | | | | | | | | | |
| F. et P. (1998) | 21-23 (22) | 1 | * | * | * | * | * | * | * | * | <i>G. rostochiensis</i> |
| F. et P. (1998) | 21-26 (>23) | 2 | * | * | * | * | * | * | * | * | <i>G. pallida</i> |
| OEPP (2013) | 23-24 | 2 | 452-486 | * | * | 50-53 | 26-27 | * | * | * | <i>G. pallida</i> |
| OEPP (2013) | 20-22 | 1 | 392-468 | * | * | 44-51 | 20-27 | * | * | * | <i>G. rostochiensis</i> |
| OEPP (2013) | 22-23 | * | 452-468 | * | * | 50-51 | 26-27 | * | * | * | <i>G. pallida</i> |

^A : **1**: La forme arrondie correspond à *Globodera rostochiensis* et **2**: La forme pointue correspond à *Globodera pallida* *: Pas de données

II.2.1.1.3. Exploitation statistique des données morphométriques des populations de nématodes

II.2.1.1.3.1. Analyse de la variance

Les résultats des mensurations des kystes et des juvéniles du deuxième stade J2 de nématodes présentent des tailles différentes entre les populations testées. Dans ce qui suit nous rechercherons la signification des moyennes calculées séparément pour les variables prises en considération. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 16.

Tableau 16. Analyse de la variance au seuil de 5% pour l'effet de l'origine de la population sur la morphométrie des kystes et des juvéniles J2 de *Globodera*.

| Variable | SC Effet | DL Effet | MC Effet | SC Erreur | DL Erreur | MC Erreur | F | P |
|---|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|------------------|
| Longueur du kyste | 23965,10 | 16 | 1497,819 | 27040,59 | 19 | 1423,189 | 1,0524 | 0,4526 |
| Largueur du kyste | 23005,87 | 16 | 1437,867 | 36032,85 | 19 | 1896,466 | 0,7582 | 0,7094 |
| Longueur du cou | 5770,76 | 16 | 360,673 | 3234,18 | 19 | 170,220 | 2,1189 | 0,0599 |
| Nombre de stries entre l'anus et le fenestre vulvaire | 283,78 | 16 | 17,736 | 61,87 | 19 | 3,256 | 5,4469 | 0,0003*** |
| Distance entre l'anus et le fenestre | 3575,25 | 16 | 223,453 | 686,20 | 19 | 36,116 | 6,1872 | 0,0001*** |
| Diamètre de fenestre vulvaire | 172,33 | 16 | 10,770 | 27,18 | 19 | 1,431 | 7,5276 | 0,0001*** |
| Rapport Granek de | 12,60 | 16 | 0,788 | 2,41 | 19 | 0,127 | 6,2184 | 0,0001*** |
| Longueur du stylet | 22,58 | 16 | 1,411 | 9,41 | 19 | 0,495 | 2,8491 | 0,0158* |
| Longueur du corps de J2 | 4734,96 | 16 | 295,935 | 2881,52 | 19 | 151,659 | 1,9513 | 0,0826 |
| Largueur du corps de J2 au milieu | 4,85 | 16 | 0,303 | 2,68 | 19 | 0,141 | 2,1482 | 0,0567 |
| Largueur du corps de J2 à l'anus | 1,15 | 16 | 0,072 | 1,30 | 19 | 0,069 | 1,0441 | 0,4591 |
| Longueur de la queue | 141,77 | 16 | 8,861 | 81,38 | 19 | 4,283 | 2,0687 | 0,0659 |
| Longueur de la partie hyaline de la queue | 323,30 | 16 | 20,206 | 31,16 | 19 | 1,640 | 12,3225 | 0,0001*** |
| Rapport a | 6,53 | 16 | 0,408 | 3,10 | 19 | 0,163 | 2,5011 | 0,0294* |
| Rapport c | 327,34 | 16 | 20,459 | 1,56 | 19 | 0,082 | 249,6536 | 0,0001*** |
| Rapport c' | 71,21 | 16 | 4,451 | 0,32 | 19 | 0,017 | 262,5973 | 0,0001*** |

*: Différence significative ($p < 0,05$) ***: Différence très hautement significative ($p < 0,001$)

Parmi les variables testées, 9 ont mis en évidence une forte signification. Il s'agit de la longueur du stylet et du rapport "a", qui présentent des probabilités significatives respectives de $p=0,0158$ et de $p=0,0294$. La comparaison des moyennes de nombre de stries entre l'anus

et le fenestre vulvaire, distance (anus-fenestre vulvaire), diamètre de fenestre vulvaire, le rapport de Granek, la longueur de la partie hyaline de la queue et les rapports c et c' montrent des probabilités très hautement significatives. Les probabilités calculées pour la longueur du kyste, largeur du kyste, longueur du cou, longueur du corps de J2, largeur du corps de J2 au milieu, largeur du corps de J2 à l'anus, longueur de la queue, ne présentent pas de signification.

De plus, l'analyse montre que toutes les moyennes calculées sur les critères morphométriques utilisés dans l'identification des espèces de *Globodera* sont significatives.

II.2.1.1.3.2. Classification hiérarchique (C.A.H)

La classification hiérarchique ascendante des 16 caractères morphométriques relatifs aux kystes, régions périnéales et juvéniles du deuxième stade a été effectuée dans le but de rassembler les variables étudiées par des mesures de similarité ou de distance pour identifier les plateaux, où de nombreuses classes sont générées à une distance d'agrégation voisine. Le diagramme vertical de l'arbre retraçant l'agrégation successive des objets est représenté par la figure 26.

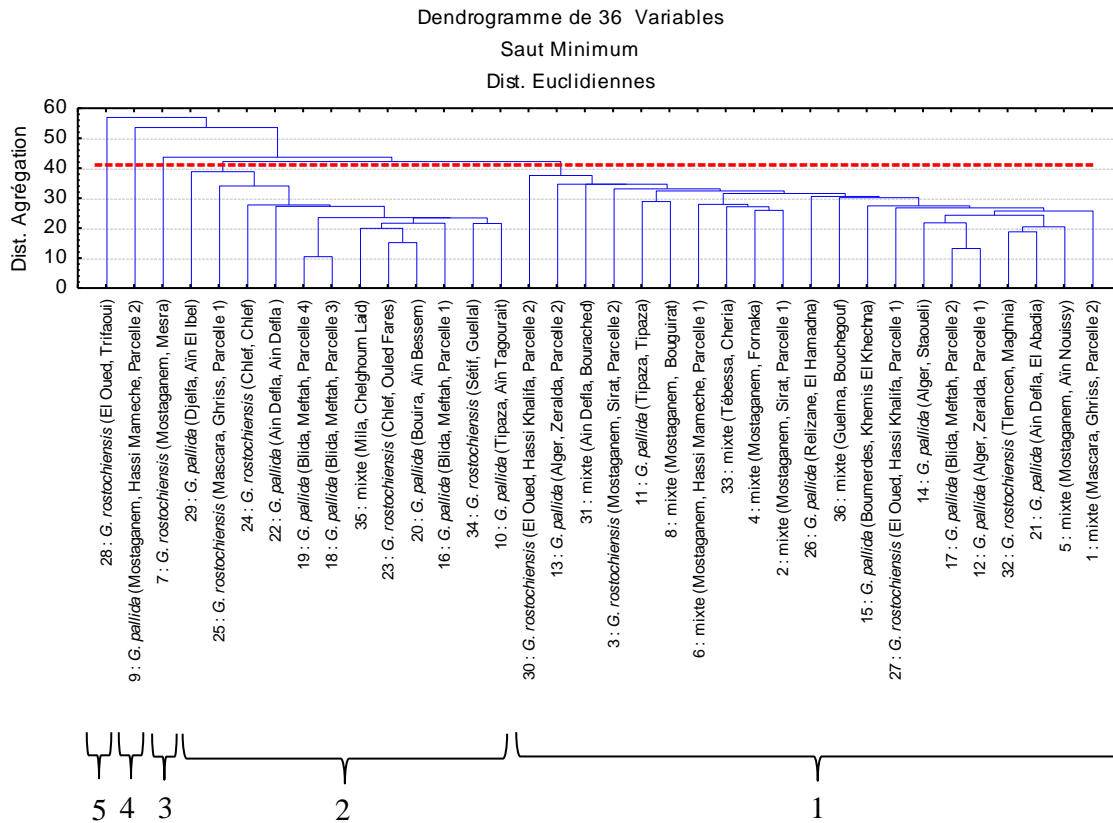


Figure 26. Dendrogramme de la classification hiérarchique des 36 populations algériennes du *Globodera* sp. basée sur 16 caractères morphométriques des kystes et des juvéniles (J2).

La classification hiérarchique ascendante basée sur le calcul de distances euclidiennes récapitulées dans la figure 26, montre qu'il y a une différence entre les populations, ce qui confirme davantage la variabilité morphométrique de ces dernières. Cinq groupes de statut constitutifs différents sont notés. Le premier groupe inclut une grande proportion de populations sont de l'ordre de 21 ; 1-5-21-32-12-17-14-27-15-36-26-2-4-33-6-8-11-3-31-13 et 30. Ces populations proviennent de régions différentes et renferment l'une des deux espèces, *Globodera pallida* ou *Globodera rostochiensis* ou les deux espèces ensembles. Le deuxième groupe se compose de 12 populations de diverses origines et renferment une seule espèce de *Globodera* ou les deux espèces ensembles. Il s'agit des populations 10, 34, 16, 20, 23, 35, 18, 19, 22, 24, 25 et 29. Les populations 7 (*Globodera rostochiensis*, Mostaganem, Mesra), 9 (*Globodera pallida*, Mostaganem, Hassi Mameche, Parcelle 2), 28 (*Globodera rostochiensis*, El Oued, Trifaoui) se retrouvent distinctement dans le troisième, le quatrième et le cinquième groupe respectivement.

Il est clair que la similarité morphométrique des populations de ces nématodes n'est pas liée à l'origine de la population et à l'espèce qu'elle renferme.

II.2.1.1.3.3. Analyse en composantes principales (ACP)

Afin de tirer plus d'information sur les relations qui existent entre les caractères morphométriques relatifs aux kystes et aux juvéniles, nous avons procédé à une analyse en composantes principales (ACP). Les résultats des corrélations obtenus sont reportés dans les figures 27 et 28.

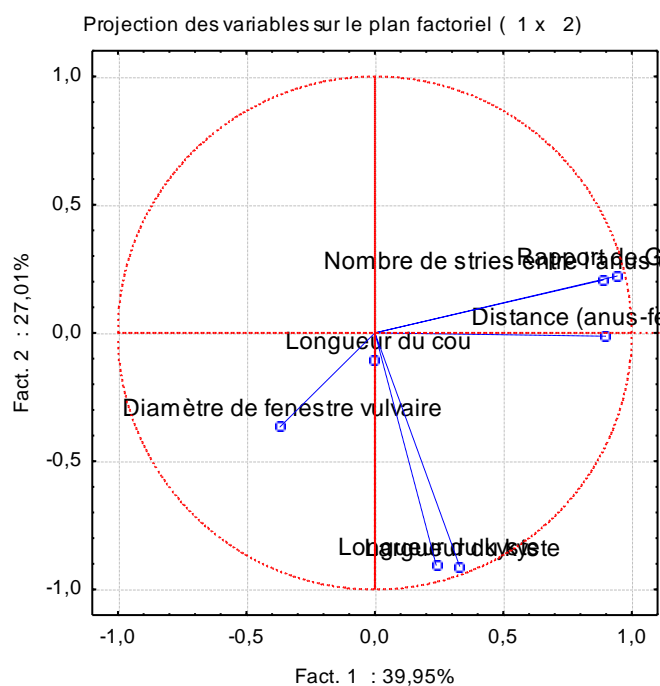


Figure 27. Analyse en composantes principales des variables biométriques des kystes et des régions périnéales de *Globodera* sp.

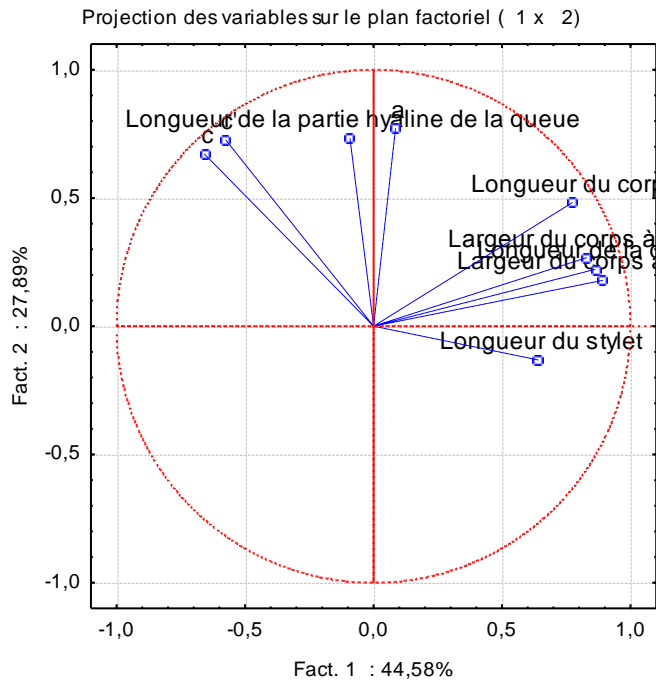


Figure 28. Analyse en composantes principales des variables biométriques des juvéniles du deuxième stade de *Globodera* sp.

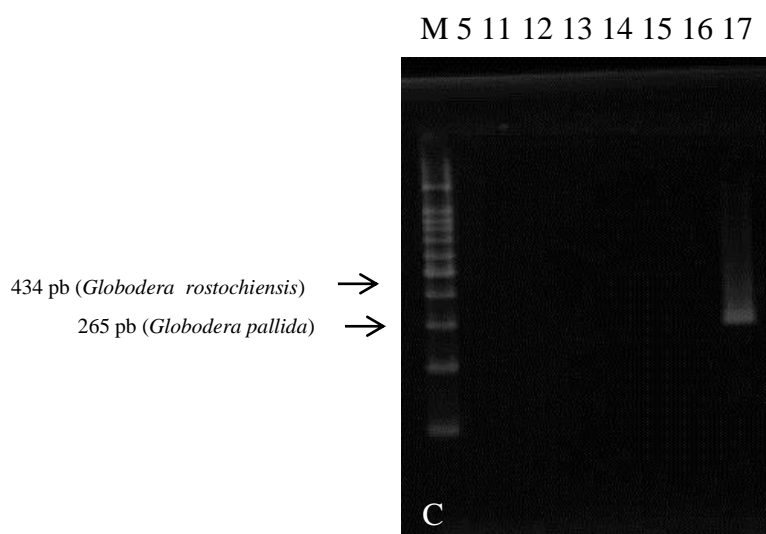
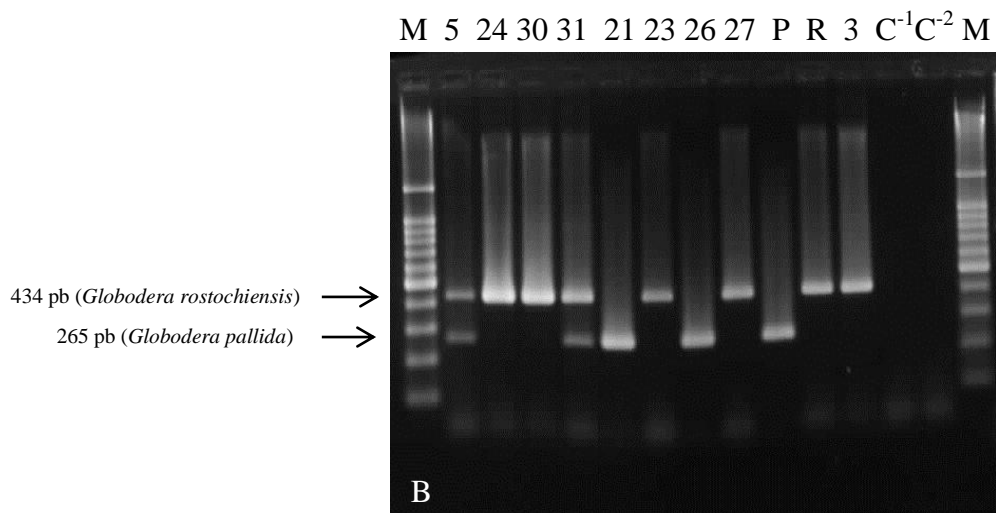
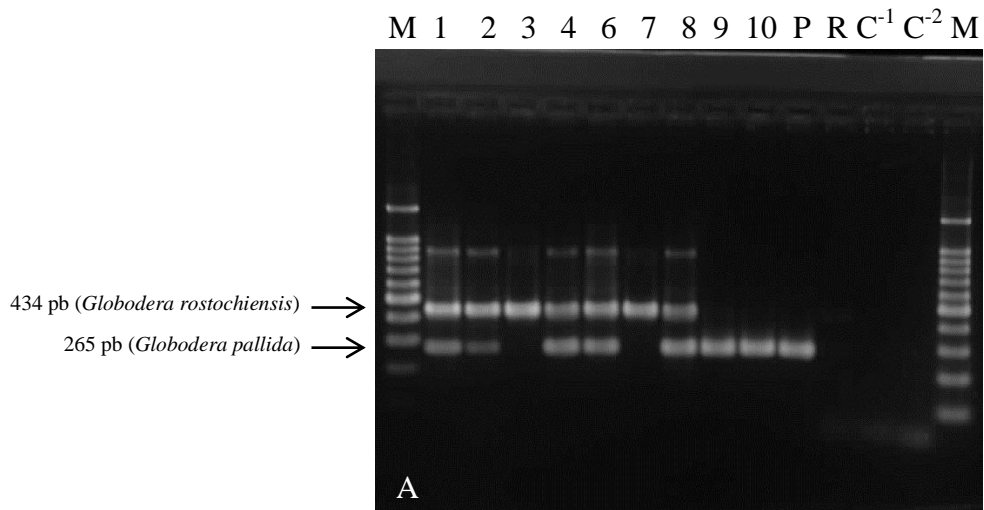
L'exploitation par une analyse en composantes principales, a permis de mettre en évidence une corrélation entre les variables en fonction des axes. La synthèse des résultats représentés par la figure 27 fait ressortir que les longueurs et les largeurs des kystes sont très corrélées. Ces deux derniers paramètres sont faiblement liés aux longueurs des cous et aux diamètres des fenestres. De même, les rapports de Granek et le nombre de stries entre l'anus et le fenestre sont liés entre eux et à leurs distances (anus- fenestre vulvaire).

L'analyse des résultats de la figure 28 montre que les longueurs des queues, les largeurs des juvéniles au milieu, les largeurs des juvéniles à l'anus sont très reliées. Ces variables sont très corrélées avec les longueurs des juvéniles, mais moyennement corrélées avec les longueurs des stylets qui sont faiblement corrélés avec les longueurs des juvéniles. En outre, les rapports " c " et " c' " sont liés entre eux.

II.2.1.2. Analyse moléculaire

II.2.1.2.1. Réaction en chaîne par polymérase conventionnelle (PCR conventionnelle)

Les résultats de l'amplification des régions ITS de l'ADN ribosomique des nématodes des populations analysées par les amorces ITS5, PITSp4 et PITSr3 sont présentés dans la figure 29.



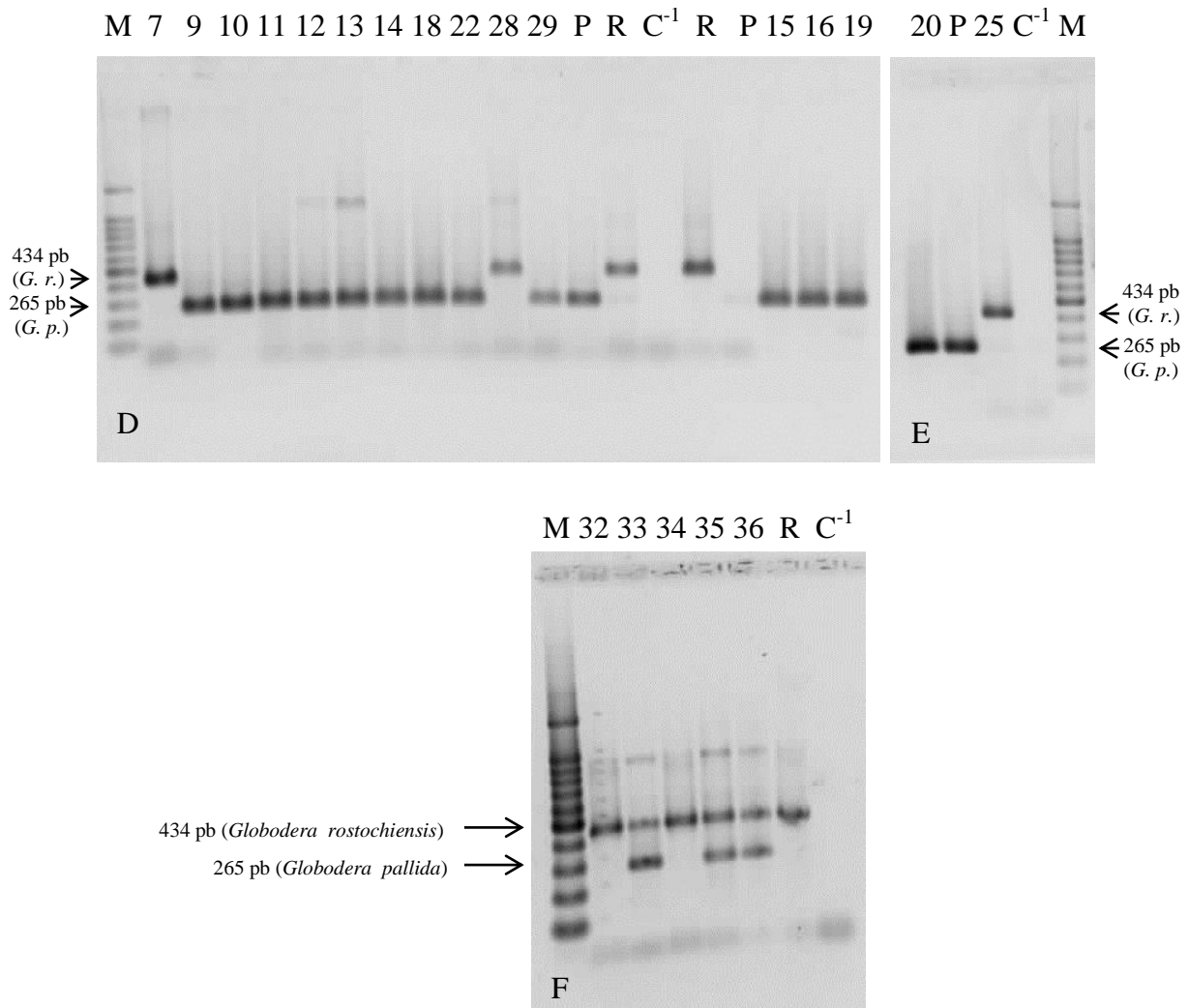


Figure 29. Produit d'amplification (PCR multiplex) de la région ITS de l'ADNr de différentes populations de nématodes à kystes de la pomme de terre : 1-36 : populations algériennes de *Globodera* sp., M: Marqueur d'ADN de taille 100 pb. C⁻¹ : Contrôle négatif de l'eau de qualité moléculaire, C⁻² : Contrôle négatif de l'eau distillée, P : Contrôle positif de *Globodera pallida*, R : Contrôle positif de *Globodera rostochiensis*, figures D et E sont réalisées sur le même gel d'agarose.

L'analyse des amplifications montre que tous les extraits d'ADN des échantillons de nématodes ont produit des fragments de la même taille que ceux obtenus dans les contrôles positifs de *Globodera pallida* et de *Globodera rostochiensis*, ce qui confirme que les réactions de PCR se sont déroulées correctement et ont permis une amplification de l'ADN.

Un effectif de 16 échantillons (9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-26 et 29) ont produit un seul fragment d'environ 265 pb, identique et similaire à la taille du fragment

provenant du contrôle positif de *Globodera pallida*. De même, 10 échantillons (3-7-23-24-25-27-28-30-32 et 34) ont donné un seul produit de PCR d'environ 434 pb, similaire à la taille du fragment obtenu dans le contrôle positif de *Globodera rostochiensis*. L'amplification a produit deux fragments d'environ 265 pb et 434 pb, spécifiques aux deux espèces *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* respectivement pour les échantillons 1-2-4-5-6-8-31-33-35 et 36.

En outre, aucun produit de PCR n'a été obtenu dans le contrôle négatif sans matrice d'ADN, ce qui signifie l'absence de contamination au cours de la réaction de PCR. De même, les premières réactions d'amplification de l'ADN des populations 5, 11, 12, 13, 14, 15 et 16 n'ont donné aucun produit (Fig.25 C). Des tests complémentaires ont montré que cela est dû à une forte concentration de l'ADN extrait. Après avoir dilué l'ADN avec l'eau distillée, nous avons refait les réactions et les produits de PCR obtenus sont présentés dans la figure 29 B et D.

II.2.1.2.2. Réaction en chaîne par polymérase en temps réel TaqMan (PCR en temps réel TaqMan)

Les données recueillies sur l'amplification des régions ITS de l'ADNr de tous les échantillons par PCR en temps réel TaqMan, relatives aux fluorescences et aux valeurs de cycle seuil (Ct) avec les moyennes et les écart-types correspondants sont rapportées dans le tableau 17.

Tableau 17. Données de quantification de la PCR en temps réel TaqMan.

| Code de la population | R* | Fluorescence FAM | | | Fluorescence TET | | | Identification de l'espèce |
|-----------------------|----|------------------|---------|-------------|------------------|---------|-------------|--|
| | | Valeur de Ct | Moyenne | Ecart -type | Valeur de Ct | Moyenne | Ecart -type | |
| 1 | 1 | 15,64 | 16,15 | 0,721 | 17,09 | 17,72 | 0,897 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 16,66 | | | 18,35 | | | |
| 2 | 1 | 19,62 | 19,77 | 0,217 | 17,82 | 17,98 | 0,222 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 19,93 | | | 18,13 | | | |
| 3 | 1 | / | / | / | 18,25 | 18,29 | 0,055 | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | / | | | 18,33 | | | |
| 4 | 1 | 17,94 | 18,39 | 0,645 | 19,86 | 20,49 | 0,890 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 18,85 | | | 21,11 | | | |
| 5 | 1 | 24,35 | 24,52 | 0,242 | 22,33 | 22,43 | 0,137 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 24,69 | | | 22,52 | | | |
| 6 | 1 | 14,52 | 14,81 | 0,411 | 16,28 | 16,55 | 0,395 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 15,10 | | | 16,83 | | | |
| 7 | 1 | / | / | / | 18,98 | 19,12 | 0,193 | <i>G. rostochiensis</i> |

| | | | | | | | | |
|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| | 2 | / | | | 19,26 | | | |
| 8 | 1 | 15,14 | 15,06 | 0,115 | 16,27 | 16,64 | 0,519 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 14,98 | | | 17,00 | | | |
| 9 | 1 | 19,05 | 19,04 | 0,015 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 19,03 | | | / | | | |
| 10 | 1 | 15,73 | 15,83 | 0,135 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 15,92 | | | / | | | |
| 11 | 1 | 18,79 | 18,91 | 0,167 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 19,03 | | | / | | | |
| 12 | 1 | 18,04 | 18,03 | 0,010 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 18,03 | | | / | | | |
| 13 | 1 | 17,62 | 17,73 | 0,152 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 17,83 | | | / | | | |
| 14 | 1 | 20,76 | 20,90 | 0,203 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 21,05 | | | / | | | |
| 15 | 1 | 15,91 | 15,81 | 0,132 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 15,72 | | | / | | | |
| 16 | 1 | 15,24 | 15,31 | 0,095 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 15,37 | | | / | | | |
| 17 | 1 | 14,15 | 14,25 | 0,143 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 14,35 | | | / | | | |
| 18 | 1 | 16,09 | 16,01 | 0,108 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 15,94 | | | / | | | |
| 19 | 1 | 16,14 | 16,24 | 0,145 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 16,35 | | | / | | | |
| 20 | 1 | 17,18 | 17,07 | 0,150 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 16,96 | | | / | | | |
| 21 | 1 | 22,32 | 22,56 | 0,337 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 22,80 | | | / | | | |
| 22 | 1 | 21,87 | 21,92 | 0,076 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 21,98 | | | / | | | |
| 23 | 1 | / | / | / | 23,48 | 23,61 | 0,186 | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | / | / | / | 23,74 | | | |
| 24 | 1 | 18,30 | 18,49 | 0,272 | / | / | / | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 18,68 | | | / | | | |
| 25 | 1 | / | / | / | 20,18 | 20,47 | 0,417 | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | / | / | / | 20,77 | | | |
| 26 | 1 | 20,91 | 20,90 | 0,017 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 20,89 | | | / | | | |
| 27 | 1 | / | / | / | 22,43 | 22,75 | 0,451 | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | / | / | / | 23,07 | | | |
| 28 | 1 | / | / | / | 24,09 | 24,09 | 0,007 | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | / | / | / | 24,08 | | | |
| 29 | 1 | 28,50 | 29,19 | 0,971 | / | / | / | <i>G. pallida</i> |
| | 2 | 29,87 | | | / | | | |
| 30 | 1 | 18,32 | 18,62 | 0,420 | / | / | / | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 18,91 | | | / | | | |

| | | | | | | | | |
|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 31 | 1 | 21,10 | 21,00 | 0,146 | 22,18 | 22,05 | 0,185 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 20,89 | | | 21,92 | | | |
| 32 | 1 | / | / | / | 19,44 | 19,41 | 0,050 | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | / | | | 19,37 | | | |
| 33 | 1 | 18,80 | 18,92 | 0,173 | 19,88 | 20,02 | 0,202 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 19,04 | | | 20,17 | | | |
| 34 | 1 | / | / | / | 18,56 | 18,87 | 0,436 | <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | / | | | 19,18 | | | |
| 35 | 1 | 18,28 | 18,63 | 0,489 | 18,96 | 19,38 | 0,596 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 18,97 | | | 19,80 | | | |
| 36 | 1 | 20,31 | 20,55 | 0,349 | 20,45 | 20,72 | 0,375 | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| | 2 | 20,80 | | | 20,98 | | | |

*: R : Répétition /: Correspond à l'absence de la fluorescence.

L'analyse des amplifications par PCR en temps réel TaqMan, révèle la présence de deux fluorescences FAM et TET dans les échantillons étudiés. La fluorescence FAM qui correspond à *Globodera pallida* a été détectée dans 16 échantillons; 9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-26 et 29, alors que la fluorescence TET qui correspond à *Globodera rostochiensis* a été enregistrée dans 10 échantillons; 3-7-23-24-25-27-28-30-32 et 34. Deux fluorescences FAM et TET ont été signalées dans 10 échantillons; 1-2-4-5-6-8-31-33-35 et 36, ce qui permet de dire que ces populations renferment les deux espèces de nématodes ensemble.

Les moyennes de cycle seuil (Ct) pour la fluorescence FAM et TET montrent une déférence entre les populations de nématodes. Pour la fluorescence FAM, les moyennes calculées varient de 14,25 à 29,19 qui correspondent à l'ADN isolé respectivement des populations 17 et 29. Les valeurs obtenues allant de 14,15 à 29,87. Concernant la fluorescence TET, les moyennes de Ct sont comprises entre une valeur minimale de l'ordre de 16,55 dans la population 6 et maximale de l'ordre de 24,09 dans la population 28. Les valeurs obtenues varient de 16,27 à 24,09.

Aucune fluorescence de FAM ou de TET n'a été détectée dans les contrôles négatifs, ce qui indique l'absence de contamination au cours de la réaction de PCR.

Comparativement les écarts-types des valeurs de Ct de deux préparations de même échantillon, restent faibles ce qui signifie la faible variabilité entre les répétitions. Les écarts-types varient de 0,010 à 0,971 dans les populations 12 et 29 respectivement pour la fluorescence FAM, et elles varient de 0,007 à 0,897 dans les populations 28 et 1 respectivement pour la fluorescence TET.

La représentation graphique de l'amplification de la réaction PCR en temps réel TaqMan est illustrée par la figure 30.

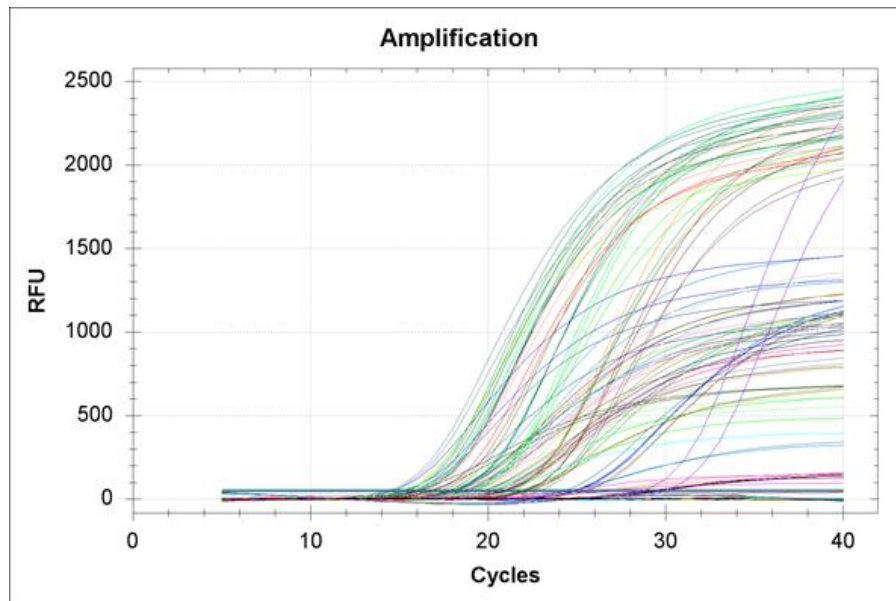


Figure 30. Courbes d'amplification des régions ITS1 de l'ADNr des échantillons de nématodes par la PCR en temps réel TaqMan déterminant la quantité de la fluorescence en fonction du nombre de cycles. FRU: fluorescence. Deux répétitions du même échantillon sont représentées par la même couleur.

II.2.1.3. Identification finale des populations de nématodes

L'identification finale d'une population de nématodes est issue de la combinaison des résultats de l'identification morphométrique et de l'identification moléculaire de cette population. Les résultats élémentaires et finaux de l'identification des populations de nématodes sont regroupés dans le tableau 18.

Tableau 18. Identification morphométrique, moléculaire et finale des populations de nématodes *Globodera* sp.

| Code de la population | Identification morphométrique | Identification moléculaire | | Identification finale |
|-----------------------|--|--|--|--|
| | | PCR conventionnelle | PCR en temps réel TaqMan | |
| 1 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 2 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 3 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globodea rostochiensis</i> |
| 4 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 5 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 6 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 7 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 8 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 9 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 10 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 11 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 12 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 13 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 14 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 15 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 16 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 17 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 18 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 19 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 20 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 21 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 22 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 23 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 24 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 25 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 26 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 27 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 28 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 29 | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> | <i>Globoder pallida</i> |
| 30 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 31 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> |
| 32 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 33 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 34 | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> | <i>G. rostochiensis</i> |
| 35 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |
| 36 | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> | <i>Globoder pallida</i> et <i>Globoder rostochiensis</i> |

Sur la base de comparaison des résultats d'identification morphométrique et moléculaire (la PCR multiplex et la PCR en temps réel TaqMan) de 36 populations algériennes de nématodes à kystes, nous avons constaté que dans l'ensemble des populations les résultats obtenus sont similaires pour les trois méthodes d'analyse. L'identification moléculaire par les deux tests confirme l'identification morphométrique de toutes les populations analysées.

Par déduction, parmi les 36 populations analysées, 16 populations pures de *Globodera pallida* (44,44%), 10 populations pures de *Globodera rostochiensis* (27,77%) et 10 populations mixtes de deux espèces de *Globodera*, soit 27,77%. Afin d'illustrer davantage la répartition des populations de ces espèces de nématodes nous avons représenté les taux calculés sous forme de sectoriel illustré par la figure 31.

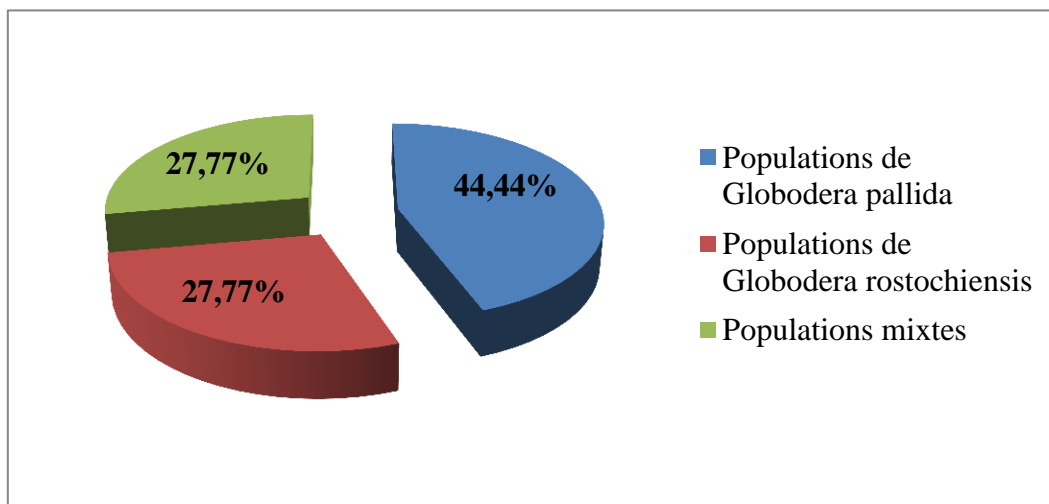


Figure 31. Taux des populations par espèce de nématodes.

II.2.1.4. Distribution des espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre en Algérie

L'identification de 36 populations de nématodes du genre *Globodera* récoltées dans 17 zones à vocation pomme de terre en Algérie nous a permis d'établir une carte de distribution des espèces de nématodes de quarantaine. La répartition des deux espèces de *Globodera* dans les régions prospectées en Algérie est illustrée par la figure 32.

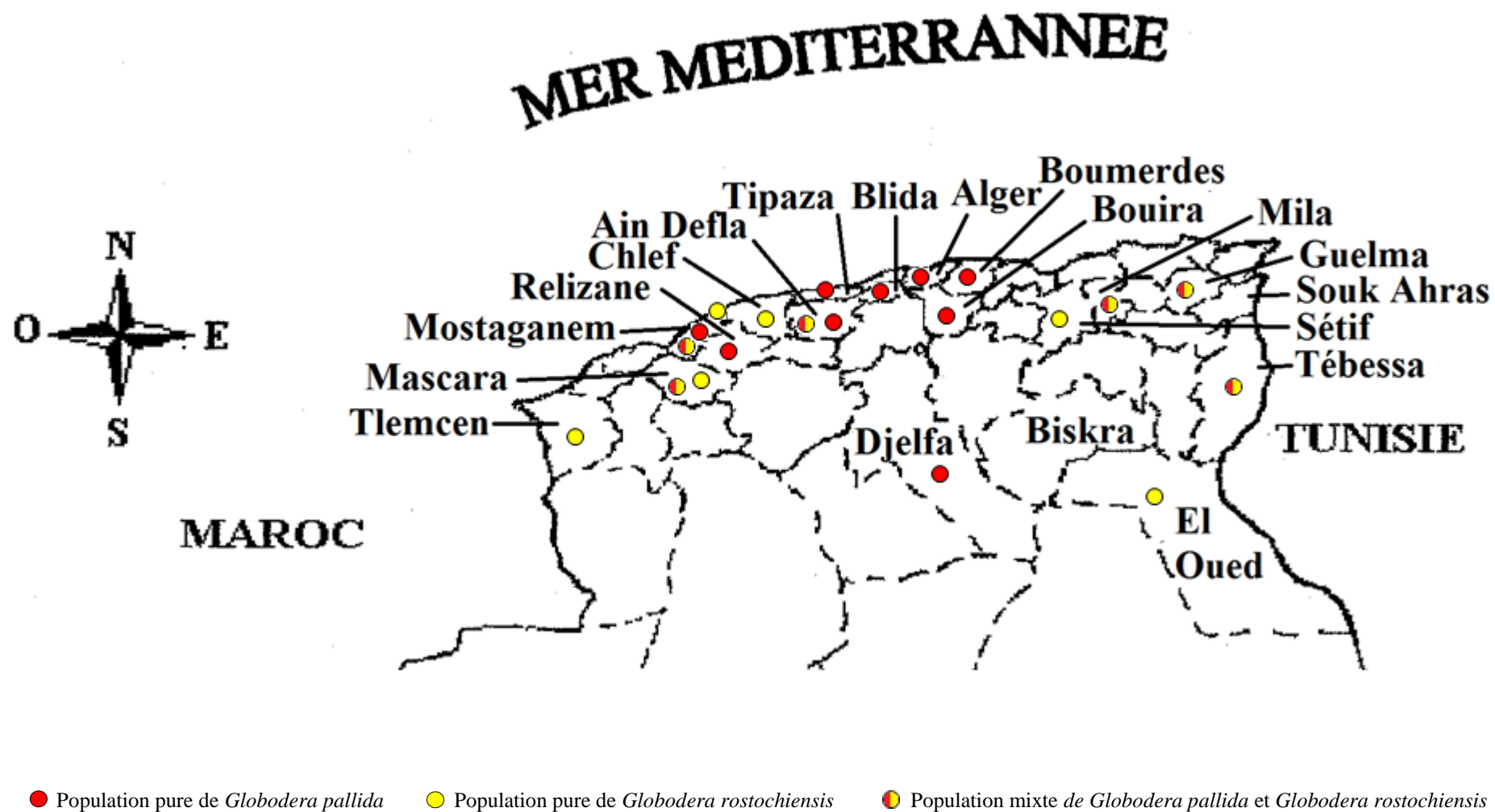


Figure 32. Distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre dans les régions prospectées en Algérie (Originale).

L'analyse de la distribution des deux espèces *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* montre que ces espèces de nématodes se retrouvent séparées dans la majorité des cas, particulièrement au centre où les populations de *Globodera pallida* sont plus présentes. À l'ouest les populations de *Globodera rostochiensis* prédominent. Les populations mixtes sont plus fréquentes à l'est. De même l'analyse montre qu'il y'a une différence dans la distribution des populations de ces espèces en fonction des régions prospectées, des situations géographiques et des étages bioclimatiques.

En fonction de l'aire de répartition des populations de *Globodera*, il semble que la population pure de l'espèce *Globodera pallida* est présente dans 9 régions sur les 17 prospectées, soit une fréquence de 63%. Il s'agit de Tipaza, Ain Defla, Blida, Alger, Boumerdes, Bouira, Relizane, Mostaganem et Djelfa. La population pure de l'espèce *Globodera rostochiensis* a été recensée dans 6 régions, représentant 35% ; Sétif, Chlef, Mostaganem, Mascara, Tlemcen et El Oued. La population mixte de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* a été signalée dans 6 régions (35%); Mila, Guelma, Tébessa, Ain Defla, Mostaganem et Mascara.

Par rapport aux situations géographiques, il apparait que les populations de deux espèces de *Globodera* se retrouvent dans toutes les parties de l'Algérie (centre, ouest, est et sud), mais certaines dominances ont été notées.

Concernant la répartition des populations en fonction du climat, il est clair que les populations pures de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* se retrouvent dans tous les étages bioclimatiques; du subhumide à l'aride, par contre les populations mixtes se dispersent principalement entre les étages bioclimatiques subhumide et semi-aride.

En outre, certaines régions renferment uniquement l'espèce *Globodera pallida* (Tipaza, Blida, Alger, Boumerdes, Bouira, Relizane et Djelfa) et d'autres renferment *Globodera rostochiensis* (Sétif, Chlef, Tlemcen et El Oued) avec des zones mixtes, regroupant sympatriquement les deux espèces (Mila, Guelma, Tébessa, Ain Defla, Mostaganem et Mascara).

La comparaison des distributions des espèces montre que *Globodera pallida* est l'espèce la plus fréquente, car elle se trouve dans la majorité des zones prospectées (13/17), représentant 76% (Tipaza, Blida, Alger, Boumerdes, Bouira, Relizane, Djelfa, Mila, Guelma, Tébessa, Ain Defla, Mostaganem et Mascara). L'espèce *Globodera rostochiensis* est présente dans 10

régions, soit 59% (Sétif, Chlef, Tlemcen, El Oued, Mila, Guelma, Tébessa, Ain Defla, Mostaganem et Mascara).

En ce qui concerne la répartition des espèces en fonction du climat, il est clair que *Globodera pallida* se retrouve seulement dans le climat subhumide et semi-aride, alors que *Globodera rostochiensis* se retrouve dans tous les étages bioclimatiques (subhumide, semi-aride et aride). Cela met en évidence l'importance possible que peut jouer le facteur climat sur la répartition des espèces de ces nématodes.

Divers variables environnementales conditionnent la répartition des nématodes à kystes qui devient inquiétante et menaçante dans les diverses régions à vocation pomme de terre en Algérie.

II.2.2. Discussion

Les nématodes à kyste *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* sont des bioagresseurs dommageables au rendement de la pomme de terre et font l'objet d'une réglementation stricte de quarantaine dans de nombreux pays, dont la lutte est devenue une nécessité.

L'identification spécifique des *Globodera* est l'une des étapes pour gérer au mieux des alternatives contre ces parasites dans leur aire de répartition. L'identification des espèces de ces nématodes est basée sur la combinaison de plusieurs méthodes (García *et al.*, 2009). L'analyse morphogénétique reste la plus utilisée et la plus prometteuse pour la caractérisation des populations de nématodes à kystes de la pomme de terre (Skantar *et al.*, 2007; Hlaoua *et al.*, 2008; García *et al.*, 2009 ; Yu *et al.*, 2010 ; Douda *et al.*, 2014 ; Camacho *et al.*, 2017).

Dans ce présent travail, une étude morphométrique et moléculaire (par l'utilisation de la technique PCR conventionnelle et quantitative) a été conduite pour caractériser et identifier 36 populations de *Globodera* présentes dans les principales zones de pomme de terre dans divers étages bioclimatiques de l'Algérie.

Les résultats recueillis mettent en évidence la présence de deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre, *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis*, qui se retrouvent séparées dans la majorité des cas ou mélangées. Parmi les 36 populations analysées, 16 populations regroupent l'espèce *Globodera pallida* (44%), 10 populations se composent uniquement de *Globodera rostochiensis* (28%) et 10 populations regroupant les deux espèces

de nématodes, soit 28%. Ces résultats sont comparables au rapport établi par Mezerket *et al.* (2018), dans lequel ils mentionnent que *Globodera pallida* a été identifiée dans 7 populations sur les 12 identifiées (58%) provenant dans diverses localités en Algérie, alors que *Globodera rostochiensis* a été notée dans 5 populations (42%). La dominance des populations de *Globodera pallida* peut résulter de l'application de mesures de lutte contre les populations de *Globodera rostochiensis* par les cultivars résistants, car il existe des variétés commerciales résistantes à *Globodera rostochiensis* mais le cas de *Globodera pallida* est très compliqué où il y a un nombre limité de variétés résistantes (Chauvin *et al.*, 2008).

Des études similaires réalisées dans d'autres pays ont montré la présence des populations pures et des populations mixtes des espèces de *Globodera*, ce qui confirme davantage nos résultats. L'analyse de certaines populations en Irlande du Nord a révélé que 81% des populations présentent *Globodera rostochiensis*, 8 % renferment *Globodera pallida* et 11% présentent deux espèces ensemble (Turner, 1996). Une enquête effectuée en Angleterre et au Pays de Galles par Ibrahim *et al.* (2001) a indiqué que 66% des échantillons de sol se composent de *Globodera pallida*, 8% de *Globodera rostochiensis* et 26% d'un mélange des deux espèces. Une étude menée en Portugal a montré que parmi les 423 populations analysées, 83% sont des *Globodera rostochiensis*, 8% sont des *Globodera pallida* et 9% sont mixtes des deux espèces (Cunha *et al.*, 2004). De plus, d'après Ibrahim *et al.* (2001), la distribution de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* est mondiale et se produit rarement en tant qu'espèces séparées, mais plus souvent en tant que des mélanges des espèces dans un domaine.

De même, les populations mixtes de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* ont été signalées dans différents pays tels que l'Amérique du Sud (Evans *et al.*, 1975), Portugal (Susana *et al.*, 1988 ; 1995), Nouvelle-Zélande (Marshall, 1993), Pologne (Kaczmarek *et al.*, 2012), Slovaquie (Douda *et al.*, 2014) et Inde (Seenivasan, 2017).

Sur le plan pratique, la gestion des populations mixtes de deux espèces de nématodes est extrêmement difficile notamment en cas d'utilisation des variétés résistantes, car il n'existe pas des cultivars résistants aux deux espèces. Il existe des variétés résistantes à *Globodera rostochiensis* alors que il y'a un nombre limité de variétés résistantes à *Globodera pallida* (Chauvin *et al.*, 2008). De plus, l'utilisation répétée de cultivars résistants à *Globodera rostochiensis* peut favoriser la multiplication de *Globodera pallida* dans les populations mixtes. C'est le cas notamment de l'utilisation intensive (durant dix années consécutives)

d'une variété résistante à *Globodera rostochiensis* aux Pays Bas, et qui a permis de réduire le niveau d'infestation par ce nématode, mais en contre partie, les populations de *Globodera pallida* initialement présentes en faible proportion dans le sol, se sont développées (Blanchard, 2006). En outre, la possibilité de l'existence des populations mixtes doit être prise en compte lors du diagnostic de ces espèces de quarantaine, en particulier du nombre de kystes utilisé pour l'analyse morphologique ou moléculaire.

En outre, la présente étude montre une variabilité de la distribution des espèces de ces parasites dans 17 zones de production de pommes de terre prospectées en Algérie. L'espèce *Globodera pallida* est présente dans la plupart des régions particulièrement au centre où elle prédomine. Alors que dans les régions de l'est et de l'ouest l'espèce *Globodera rostochiensis* est plus présente. L'espèce *Globodera pallida* se répartie davantage dans les régions qui se caractérisent par des climats subhumide et semi-aride. Par ailleurs, *Globodera rostochiensis* se distribue dans les étages bioclimatiques allant de subhumide à l'aride. Cela signifie que le climat joue un rôle déterminant dans la répartition de ces espèces. L'étude effectuée par Evans *et al.* (1957) sur la distribution des espèces de *Globodera* en Amérique du sud a montré qu'au nord de 15,6 ° S, seule l'espèce *Globodera pallida* a été trouvée, mais au sud de cette latitude, la plupart des populations examinées étaient *Globodera rostochiensis* ou un mélange des deux espèces. Selon les auteurs précités la distribution des deux espèces est en relation avec la latitude, particulièrement l'influence de la longueur du jour. A ce sujet, Mugniery (1978a) affirme que *Globodera rostochiensis* est plus compétitif que *Globodera pallida* à haute température (24 °C) et inversement à basse température (9,5 °C).

La distribution des espèces de *Globodera* peut être dépend de plusieurs variables environnementales et cela nécessite d'autres études approfondies pour tirer des informations plus fiables.

L'identification traditionnelle des espèces au sein du genre *Globodera* est basée sur les caractères morphologiques et morphométriques des kystes et des juvéniles de deuxième stade, et ceux-ci sont inclus dans la plupart des clés d'identification. La caractérisation morphométrique des kystes et des juvéniles de deuxième stade a permis d'identifier les espèces de *Globodera* des populations algériennes. Ces résultats confirment ceux de plusieurs auteurs dans différents pays, qui proposent l'utilité de cette méthode, à savoir en Slovaquie (Urek *et al.*, 2002), dans l'Idaho (Etats-Unis d'Amérique) (Skantar *et al.*, 2007), en Tunisie (Hlawa *et al.*, 2008), au Costa Rica (Amérique centrale) (García *et al.*, 2009), au Québec

(Canada) (Yu *et al.*, 2010), en Serbie (Oro *et al.*, 2010; Bačić *et al.*, 2013), en Slovaquie (Douda *et al.*, 2014) et récemment en Portugal (Camacho *et al.*, 2017). D'autant plus, l'existence des laboratoires agréés pour l'identification morphologique des espèces *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis*, comme c'est le cas du laboratoire national phytosanitaire-nématologie en Roumanie témoignant de l'importance de cette méthode de diagnostic.

Pratiquement les valeurs moyennes des caractéristiques morphométriques présentées par les échantillons nationaux de nématodes *Globodera* sp. corroborent avec les valeurs indiquées dans la littérature (Fleming et Powers, 1998; OEPP, 2013). Cependant, l'amplitude des valeurs se situe en dehors des intervalles attendus pour *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis*, ce qui rend difficile l'identification de l'individu. Ces résultats restent comparables avec ceux notés par différents auteurs dans diverses zones géographiques (Yu *et al.*, 2010; Skantar *et al.*, 2007, Bačić *et al.*, 2013; Douda *et al.*, 2014, Camacho *et al.*, 2017).

L'identification morphométrique reste un élément de base et ne nécessite pas une procédure préalable et aucun produit chimique. Elle exige un spécialiste qualifié et expérimenté, et un équipement optique à haute résolution. Ce point de vue est retenu par plusieurs chercheurs dans le domaine (Bačić *et al.*, 2013; Sequeo *et al.*, 2016; Camacho *et al.*, 2017). La fiabilité de l'identification morphométrique est considérable lorsqu'elle est conduite par combinaison des caractères des kystes et des juvéniles. A cause de certains caractères morphométriques comparables entre les populations et entre diverses espèces, une confirmation à base d'une caractérisation moléculaire s'avère indispensable pour une identification plus fiable des populations dans leur biotope. Cet aspect est évoqué par divers auteurs (García *et al.*, 2009; Douda *et al.*, 2014 ; Seesao *et al.*, 2016; Camacho *et al.*, 2017).

Dans cette étude, le test de PCR multiplex avec les amorces spécifiques a identifié et confirmé l'identification morphologique adoptée pour les espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre analysées. Certains échantillons ont produit un seul fragment de 265 pb ou de 434 pb, spécifique à *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* respectivement, ce que signifie que ces populations sont pures. Alors que d'autres échantillons ont produit les deux fragments, ce qui caractérise les populations mixtes. Ce résultat est conforme au protocole de Bulman et Marshall (1997) et correspond également au résultat obtenu par plusieurs chercheurs (Ibrahim *et al.*, 2001; Bates *et al.*, 2002; Minnis *et al.*, 2002; Polypecynto *et al.*, 2005; Skantar *et al.*, 2007; Madani *et al.*, 2008; Grubišić *et al.*, 2013; Van de Vossenber *et al.*, 2014; Camacho *et al.*, 2017). La PCR multiplex utilise plus d'une paire d'amorces dans la

même réaction, ce qui permet l'amplification simultanée de plus d'une séquence d'ADN et par conséquent, elle permet l'identification de plus d'une espèce. Pour cette raison on peut dire que la PCR multiplex est un test simple, rapide, précis et économique pour un grand nombre d'échantillons, et plus fiables pour les analyses.

L'application de PCR en temps réel avec les amorces spécifiques et les sondes de la TaqMan a permis de distinguer clairement entre *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* de différentes populations algériennes de nématodes et elle a confirmé davantage l'identification morphométrique. Ceci grâce à la détection de la fluorescence FAM et TET qui correspond à *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* respectivement. Cette méthode a repéré avec succès les populations mixtes. Ces résultats restent conformes au protocole de l'OEPP (2017). La PCR TaqMan en temps réel à l'avantage de traiter d'un grand nombre d'échantillons dans un délai relativement bref puisque elle minimise le temps de l'électrophorèse par PCR conventionnelle.

Tenant compte de la fiabilité de ces techniques, il serait intéressant de l'élargir à d'autres populations prélevées dans les différentes régions des étages bioclimatiques de l'Algérie.

L'analyse par classification hiérarchique ascendante utilisant les caractères morphométriques de kystes et juvéniles fait distinguer les populations 7, 9 et 28 du reste des populations. Des travaux approfondis sur ces populations méritent d'être conduits afin de confirmer ces résultats.

Des interventions efficaces par l'approche intégrée contre ces espèces de quarantaine sont nécessaires. Devant le manque des cultivars résistants à *Globodera pallida*, il semble que des pratiques agronomiques adéquates telle que la rotation des cultures sont des mesures de gestion efficaces pour réduire les populations de cette espèce dans le sol.

TROISIEME CHAPITRE

Effet de la rotation culturale sur le développement des populations des nématodes à kystes de la pomme de terre

TROISIEME CHAPITRE

Effet de la rotation culturale sur le développement des populations des nématodes à kystes de la pomme de terre

La lutte contre les nématodes à kystes de la pomme de terre est difficile en raison de leur longue persistance dans le sol, mais généralement la combinaison de plusieurs approches intégrées peut-être satisfaisante. Des traitements chimiques sont largement utilisés, mais cette méthode est couteuse et présente des effets néfastes à l'environnement (Evans *et al.*, 2002). Par ailleurs, plusieurs méthodes alternatives d'ordre culturales ont été utilisées telles que la jachère, les variétés résistantes, les cultures pièges et les rotations culturales avec des plantes non hôtes (Trudgill *et al.*, 1987 ; Toida et Ekanayake, 1992 ; Brodie, 1996 ; Scholte et Vos, 2000 ; López-Lima *et al.*, 2013 ; Bélair *et al.*, 2016 ; Manorama *et al.*, 2016).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité de la rotation culturale sur la densité de population des nématodes à kystes de la pomme de terre dans diverses parcelles en Algérie.

III.1. Matériels et méthodes

III.1.1. Présentation des sites d'étude

Sur la base des données des enquêtes conduites sur la distribution et les infestations des nématodes à kystes du genre *Globodera* dans les régions productrices de la pomme de terre en Algérie, dix parcelles de la pomme de terre ont été choisies pour estimer l'effet de la rotation des cultures sur la densité de population de ces nématodes. Ces parcelles se répartissent géographiquement entre quatre régions ; 2 à Tipaza, 2 à Ain Defla, 3 à Alger et 3 à Blida.

Le choix des parcelles est basé sur leur niveau d'infestation par ces parasites de quarantaine. En effet, les parcelles fortement infestées avec une densité de population qui dépasse le seuil de nuisibilité ont été retenues pour cet essai. Les caractéristiques des parcelles et des informations sur les populations de nématodes qu'elles renferment au début de l'expérience sont regroupées dans le tableau 19.

Tableau 19. Caractéristiques des sites considérées.

| Parcelle | Région | Localité | Textures de sol * | Code de la population ** | Identification de la population ** | No. de kystes/kg de sol *** | No. d'œufs et larves/g de sol **** | Date d'analyse de sol **** |
|----------|-----------|---------------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Tipaza | Aïn Tagourait | Limon-sableux | 10 | <i>Globodera pallida</i> | 129 | 45,45 | 01/06/2014 |
| 2 | Tipaza | Tipaza | Limon-sableux | 11 | <i>Globodera pallida</i> | 172 | 69,28 | 01/06/2014 |
| 3 | Alger | Zéralda | Sablo-limoneux | 12 | <i>Globodera pallida</i> | 45 | 17,24 | 07/06/2014 |
| 4 | Alger | Zéralda | Sablo-limoneux | 13 | <i>Globodera pallida</i> | 101 | 38,926 | 07/06/2014 |
| 5 | Alger | Staoueli | Limon-sableux | 14 | <i>Globodera pallida</i> | 38 | 16,41 | 07/06/2014 |
| 6 | Blida | Meftah | Limono-argileux | 16 | <i>Globodera pallida</i> | 60 | 24,73 | 04/06/2014 |
| 7 | Blida | Meftah | Limono-argileux | 17 | <i>Globodera pallida</i> | 90 | 40,15 | 04/06/2014 |
| 8 | Blida | Meftah | Limono-argileux | 19 | <i>Globodera pallida</i> | 41 | 15,96 | 04/06/2014 |
| 9 | Ain Defla | El Abadia | Argilo-limoneux | 21 | <i>Globodera pallida</i> | 87 | 36,30 | 17/06/2014 |
| 10 | Ain Defla | Ain Defla | Argilo-limoneux | 22 | <i>Globodera pallida</i> | 190 | 71,03 | 17/06/2014 |

*: La texture de sol des parcelles est fournie par les agriculteurs

**: Chapitre 2.

***: Chapitre 1

III.1.2. Systèmes de culture

L'étude de l'impact des rotations culturales sur l'évolution des populations de nématodes à kystes *Globodera* dans les parcelles considérées a été réalisée sur une période de six ans successifs de 2014 à 2019. Des rotations culturales variables ont été appliquées par les agriculteurs pendant cette période d'étude. Il s'agit des cultures par des plantes non hôtes (blé dur, chou-fleur, fenouil, haricot, laitue et oignon), jachère et pomme de terre (variété Kondor et Spunta). Le choix de type de rotation culturale est appliqué par les agriculteurs. Les rotations culturales appliquées dans toutes les parcelles sont rapportées dans le tableau 20.

Tableau 20. Rotations culturales appliquées dans les parcelles considérées.

| Année Parcelle | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | Pomme de terre (Spunta) | Chou-fleur | Pomme de terre (Spunta) | Haricot / Laitue | Pomme de terre (Spunta) | Oignon / Haricot |
| 2 | Pomme de terre (Spunta) | Chou-fleur / Haricot | Oignon / Haricot | Laitue | Chou-fleur / Haricot | Jachère |
| 3 | Pomme de terre (Spunta) | Chou-fleur | Chou-fleur / Haricot | Chou-fleur / Laitue | Tomate | Pomme de terre Spunta |
| 4 | Pomme de terre (Spunta) | Chou-fleur / Laitue | Laitue | Chou-fleur / Laitue | Tomate | Tomate |
| 5 | Pomme de terre (Spunta) | Pomme de terre (Kondor) | Chou-fleur / Haricot | Pomme de terre (Spunta) | Chou-fleur / Haricot | Oignon |
| 6 | Pomme de terre (Spunta) | Fenouil | Jachère | Pomme de terre (Spunta) | Pomme de terre (Spunta) | Fenouil / Laitue |
| 7 | Pomme de terre (Spunta) | Blé dur | Blé dur | Pomme de terre (Spunta) | Blé dur | Blé dur |
| 8 | Pomme de terre (Spunta) | Blé dur | Blé dur | Blé dur | Blé dur | Pomme de terre |

| | | | | | | |
|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|------------------------|
| | | | | | | (Spunta) |
| 9 | Pomme de terre (Spunta) | Blé dur | Pomme de terre (Kondor) | Blé dur | Pomme de terre (Kondor) | Pomme de terre Spunta) |
| 10 | Pomme de terre (Spunta) | Pomme de terre (Kondor) | Pomme de terre (Kondor) | Blé dur | Pomme de terre (Kondor) | Pomme de terre Spunta) |

/ : A la même année deux cultures se succèdent.

III.1.3. Méthodologie de travail

Afin de déterminer les densités de population des nématodes dans des parcelles considérées, des analyses nématologiques ont été effectuées chaque année à la même période. Les périodes d'analyse sont mentionnées dans le tableau 21.

Dans chaque parcelle, un échantillonnage de sol a été effectué. En effet, à l'aide d'une binette, 60 sous échantillons ont été prélevés dans une surface d'un hectare selon les deux diagonales et des profondeurs allant de 10 à 30 cm. Les sous échantillons sont conservés dans un sac en plastique pour former un échantillon global de 2,5 à 3 kg. Ce dernier est amené au laboratoire portant une étiquette indiquant le site d'échantillonnage, la date de prélèvement, ainsi que d'autres informations sur les précédents culturaux obtenues à travers l'enquête effectuée avec l'agriculteur.

Au laboratoire, le sol est préalablement séché puis un kg est utilisé pour l'extraction des kystes à l'aide d'un appareil de Fenwick (Fenwick, 1940).

Les kystes de nématodes récoltés de chaque échantillon ont été dénombrés afin de déterminer la densité de population exprimée en nombre de kystes/ kg de sol. De même, le contenu des kystes a été quantifié pour estimer la densité de population exprimée en nombre d'œufs et larves/ g de sol.

Les étapes de l'analyse nématologique (échantillonnage de sol, extraction et dénombrement des nématodes) sont présentées dans le chapitre 1.

A la fin de l'expérimentation, le taux de multiplication de nématodes a été évalué en divisant la densité de population finale (P_f) par la densité de population initiale (P_i). Cette formule a été adoptée par différents chercheurs dans le domaine (Hajihassani *et al.*, 2013 ; López-Lima *et al.*, 2013 ; Bélair *et al.*, 2016 ; Sudha *et al.*, 2016). De même le taux de réduction des populations de ces nématodes ($(1 - P_f / P_i) \times 100\%$) a été déterminé (Bélair *et al.*, 2016).

Tableau 21. Période d'échantillonnage de sol dans les parcelles prospectées.

| Année Parcelle | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 01/06/2014 | 01/06/2015 | 01/06/2016 | 02/06/2017 | 02/06/2018 | 02/06/2019 |
| 2 | 01/06/2014 | 01/06/2015 | 01/06/2016 | 02/06/2017 | 02/06/2018 | 02/06/2019 |
| 3 | 07/06/2014 | 10/06/2015 | 10/06/2016 | 11/06/2017 | 12/06/2018 | 12/06/2019 |
| 4 | 07/06/2014 | 10/06/2015 | 10/06/2016 | 11/06/2017 | 12/06/2018 | 12/06/2019 |
| 5 | 07/06/2014 | 10/06/2015 | 10/06/2016 | 11/06/2017 | 12/06/2018 | 12/06/2019 |
| 6 | 04/06/2014 | 05/06/2015 | 05/06/2016 | 05/06/2017 | 06/06/2018 | 08/06/2018 |
| 7 | 04/06/2014 | 05/06/2015 | 05/06/2016 | 05/06/2017 | 06/06/2018 | 08/06/2018 |
| 8 | 04/06/2014 | 05/06/2015 | 05/06/2016 | 05/06/2017 | 06/06/2018 | 08/06/2018 |
| 9 | 17/06/2014 | 17/06/2015 | 18/06/2016 | 18/06/2017 | 19/06/2018 | 19/06/2019 |
| 10 | 17/06/2014 | 17/06/2015 | 18/06/2016 | 18/06/2017 | 19/06/2018 | 19/06/2019 |

III.2. Résultats et discussion

III.2.1. Résultats

III.2.1.1. Densités de population des nématodes

Les résultats obtenus sur les densités de population des nématodes à kystes du genre *Globodera* dans diverses parcelles de la pomme de terre pendant plusieurs années consécutives sont présentés dans les tableaux 22 et 23.

Tableau 22. Densités de population des nématodes *Globodera* sp. exprimées en nombre de kystes/kg de sol dans les parcelles prospectées.

| Année Parcelle | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 129 | 78 | 89 | 53 | 58 | 38 |
| 2 | 172 | 119 | 75 | 53 | 40 | 30 |
| 3 | 45 | 35 | 23 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 101 | 68 | 50 | 33 | 41 | 56 |
| 5 | 38 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 60 | 49 | 41 | 57 | 65 | 40 |
| 7 | 90 | 67 | 48 | 53 | 34 | 21 |
| 8 | 41 | 34 | 21 | 18 | 0 | 0 |
| 9 | 87 | 66 | 31 | 21 | 0 | 0 |
| 10 | 190 | 96 | 54 | 41 | 19 | 29 |

Tableau 23. Densités de population des nématodes *Globodera* sp. exprimées en nombre d'œufs et de larves/g de sol dans les parcelles prospectées.

| Année Parcelle | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 45,45 | 25,18 | 28,12 | 16,30 | 18,64 | 11,52 |
| 2 | 69,28 | 39,71 | 23,87 | 17,20 | 10,83 | 8,51 |
| 3 | 17,24 | 11,02 | 6,85 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 38,92 | 22,70 | 17,01 | 10,80 | 13,57 | 19,04 |
| 5 | 16,41 | 6,44 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 24,73 | 18,03 | 13,81 | 20,03 | 22,10 | 13,44 |
| 7 | 40,15 | 23,00 | 14,57 | 16,53 | 9,85 | 6,33 |
| 8 | 15,96 | 10,70 | 6,01 | 4,33 | 0 | 0 |
| 9 | 36,30 | 22,05 | 8,61 | 5,75 | 0 | 0 |
| 10 | 71,03 | 32,20 | 16,29 | 11,28 | 4,92 | 7,04 |

La comparaison des densités de population des nématodes exposées dans les tableaux 22 et 23, met en évidence une évolution d'une année à une autre de 2014 à 2019. En effet, dans la majorité des cas, une réduction de niveau d'infestation entre les années a été constatée, sauf pour certains cas, où un accroissement de densité de population a été observé. Les figures 33A et 33B illustrent davantage l'allure des infestations.

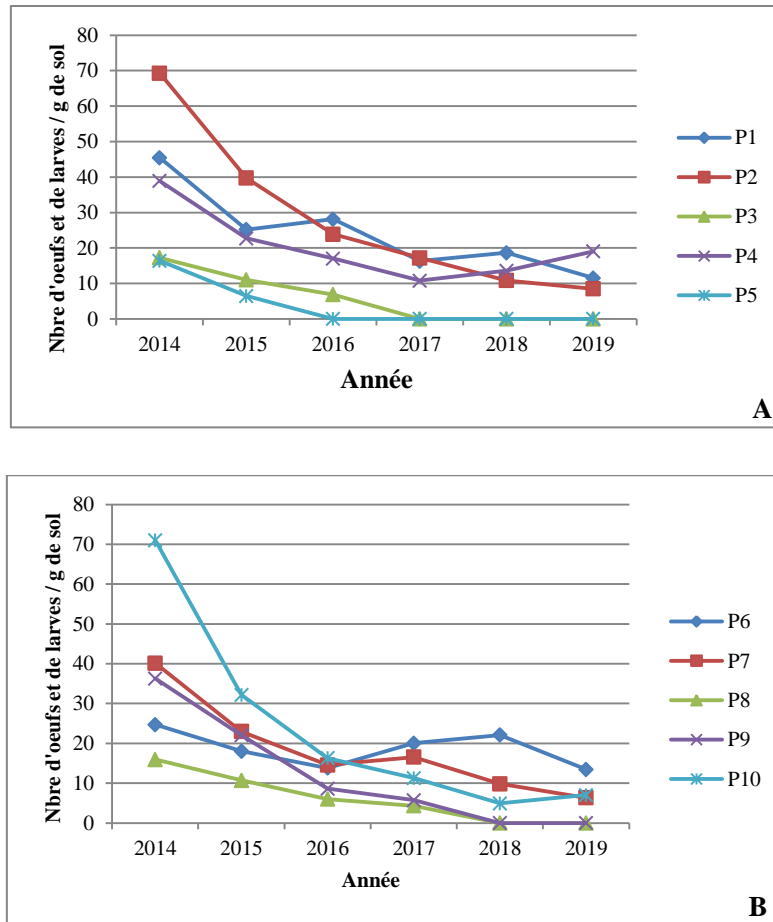


Figure 33. Évolution des densités de population des nématodes *Globodera* sp. dans les 10 parcelles prospectées au cours de la période allant de 2014 à 2019.

III.2.1.2. Taux de réduction des densités de population des nématodes

Les résultats des taux de réduction des densités de population des nématodes pour chaque année et durant toute la période expérimentale sont regroupés dans le tableau 24.

Tableau 24. Taux de réduction (%) des densités de population des nématodes dans toutes les parcelles considérées.

| Année Parcelle | 2014 - 2015 | 2015 - 2016 | 2016 - 2017 | 2017 - 2018 | 2018 - 2019 | 2014 - 2019 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 44,60 | / | 42,04 | / | 38,20 | 74,6 |
| 2 | 42,69 | 39,89 | 27,95 | 37,04 | 21,43 | 87,72 |
| 3 | 36,08 | 37,85 | 100 | | | 100 |
| 4 | 41,68 | 25,07 | 36,51 | / | / | 51,08 |
| 5 | 60,76 | 100 | | | | 100 |
| 6 | 27,1 | 23,41 | / | / | 39,19 | 45,66 |
| 7 | 42,72 | 36,66 | / | 40,42 | 35,74 | 84,24 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|---|-------|
| 8 | 32,96 | 43,84 | 27,96 | 100 | | 100 |
| 9 | 39,26 | 60,96 | 33,22 | 100 | | 100 |
| 10 | 54,67 | 49,41 | 30,76 | 56,39 | / | 90,09 |

/ : Correspond à l'accroissement de la densité de population.

L'analyse des résultats montre que le taux de réduction de ces nématodes varie au cours des années de l'étude, allant de 21,43 à 60,96%. Vraisemblablement il est lié au type de la rotation appliquée dans la parcelle. Pour les prospections dans les parcelles des plantes non hôtes, le taux de réduction varie de 25,07 à 44,60%. Le taux le plus élevé (44,60%) a été noté dans la parcelle cultivée par le chou-fleur et le plus faible (25,07%) a été trouvé dans la parcelle de la laitue. Alors qu'il reste plus conséquent pour la pomme de terre variété Kondor, variant de 49,41 à 60,96%. Cependant, de faibles taux de réduction de l'ordre de 21,43% et de 23,41% ont été enregistrés pour les rotations avec une jachère.

Concernant le taux de réduction de 2014 à 2019, il est similaire et a atteint 100% dans les parcelles 3-5-8 et 9. Ce taux varie de 45,66% à 90,09% dans le reste des parcelles.

III.2.2. Discussion

La présence des nématodes à kystes de la pomme de terre dans une parcelle a un impact parfois considérable sur la production, et associé souvent avec des pertes de rendement allant jusqu'à 80% (Mwangi *et al.*, 2015). Par conséquent, un programme de gestion durable et efficace des nématodes devait être établi. La croissance des restrictions à l'application des nématicides et des fumigants nécessite l'utilisation des méthodes alternatives de lutte contre les nématodes telles que les rotations respectées au cours du temps, les cultures pièges et l'utilisation des cultivars résistants (Fleming et Turner, 1998). Ces aspects ont fait l'objet d'étude de plusieurs chercheurs notamment par Mugniery et Oger (1982), Mugniery *et al.* (1984), Trudgill *et al.* (1987), Toida et Ekanayake (1992), Brodie (1996), Devine *et al.* (1999), Scholte et Vos (2000), Urek *et al.* (2008), López-Lima *et al.* (2013), Bélair *et al.* (2016) et Manorama *et al.* (2016). Dans ce contexte, l'effet de la rotation culturale sur les nématodes de la pomme de terre a été étudié.

Les résultats de la présente expérimentation confirment l'importance de la rotation culturale comme méthode de lutte alternative contre les nématodes de quarantaine *Globodera* sp.

Une année de rotation avec des différentes plantes non hôtes permet de réduire la population des nématodes *Globodera* de 25,07 à 44,60%. Ces résultats confirment ceux obtenus par

plusieurs auteurs. En Algérie, les cultures non hôtes de printemps et d'automne entraînent des chutes de population de *Globodera* sp. de 30 à 33% (Mugniery et Zaouchi, 1973). Dans les régions tempérées, la réduction des populations de ces parasites est estimée à environ 30% par an en l'absence d'un hôte approprié (Evans et Stone, 1977). En France, selon les zones et les populations, tout peut varier assez profondément. *Globodera rostochiensis*, à Noirmoutier, et *Globodera pallida*, à Saint-Malo, voient leurs populations diminuer de 40% annuellement (Mugniery, 1978b). Les essais réalisés à Béziers en 1979 avec *Globodera pallida* mettent en évidence des diminutions de population de 50% entre février et juillet (Mugniery et Oger, 1982). Dans l'Ouest de la France (Kermat), une culture de carotte permettait de réduire de 28% le niveau de contamination du sol par les nématodes (Mugniery et Oger, 1982). Au Sri Lanka (Asie du Sud), la culture du chou après la pomme de terre a entraîné un faible nombre de kyste de *Globodera rostochiensis*, ce qui indique que cette culture est efficace pour réduire la population de ce parasite (Toida et Ekanayake, 1992). Des études conduites par Brodie (1996) à Prattsburgh (New York) montrent que la rotation avec une culture non hôte l'avoine *Avena sativa* réduit le nombre d'œufs / 100 ml de sol de *Globodera rostochiensis* de 30 à 40%. Iriarte *et al.* (1999) ont démontré que la rotation avec la fève *Vicia faba* peut réduire la population initiale de *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* de 30% en Bolivie. Dans cette même région, la culture d'une année du haricot *Phaseolus vulgaris* L. et de l'orge *Hordeum vulgare* diminue les populations de *Globodera* sp. respectivement de 25,23 et de 25% (Pacajes *et al.*, 2002). La réduction de la population de *Globodera rostochiensis* a été évaluée à 30% par année avec la culture de maïs *Zea mays* au Québec (Bélair *et al.*, 2016).

L'utilisation de la pomme de terre variété Kondor pendant 1 an, est plus efficace pour réduire la population des nématodes que les cultures des plantes non hôtes, avec un taux de réduction varie de 49,41 à 60,96%, ce qui signifie que cette variété est relativement résistante. Les résultats obtenus par Djebroune (2013) indiquent une diminution conséquente de la densité initiale des nématodes *Globodera* sp. dans les parcelle de la variété Kondor après une saison de croissance. Il est suggéré que les variétés résistantes réduisent le nombre des nématodes envahissant leurs racines qui empêchent la croissance et / ou la reproduction des nématodes, tandis que la culture des plantes non hôtes diminue progressivement le nombre de nématode en raison de l'absence de l'hôte, dont les racines ne sont pas envahis par les nématodes. D'autres résultats témoignent que les variétés résistantes aux nématodes *Globodera* permettent de réduire le niveau d'infestation. Les expériences conduites entre 2009 et 2012 au

Quebec montrent qu'une seule année de rotation avec un cultivar résistant entraîne une réduction allant de 62 à 95% des populations de *Globodera rostochiensis* (Bélaïr *et al.*, 2016).

La rotation avec la jachère a contribué aussi à réduire les populations de ces bioagresseurs, mais avec des faibles taux de réduction de 21,43% et de 23,41%. Ces résultats corroborent avec les études menées en Bolivie, où un sol abandonné en jachère pendant un cycle de culture produit une réduction de 11% de l'infestation de *Globodera* sp. (Pacajes *et al.* 2002). En outre, les expériences réalisées à Prattsburgh (New York) sur la population de *Globodera rostochiensis* ont montré que la réduction du niveau d'infestation est seulement de 6,8% après une rotation avec la jachère pendant 2 ans (López-Lima *et al.*, 2013).

Concernant les combinaisons des rotations culturales appliquées dans différentes parcelles au cours de la période allant de 2014 à 2019, elles permettent de réduire les niveaux d'infestation des nématodes mais avec un taux variable.

La combinaison des rotations culturales avec des plantes non hôtes et la pomme de terre variété Kondor a été appliquée avec succès pour contrecarrer ces bioagresseurs, où le taux de réduction a atteint 100% dans les parcelles 5 et 9 localisées dans la région d'Alger et Ain Defla respectivement. Cela confirme les résultats de Inagaki (1978) qui indiquent que la combinaison des cultures non hôtes et de variétés de pomme de terre résistantes dans un système de rotation serait efficace pour la gestion de cette situation de nématodes. Le même résultat a été observé dans les parcelles 3 et 8 localisées dans la région d'Alger et Blida respectivement mais par des rotations des cultures non hôtes.

Le système de rotation appliqué dans la parcelle 10 (pomme de terre variété Kondor / pomme de terre variété Kondor / blé dur / pomme de terre variété Kondor / pomme de terre variété Spunta) permet de réduire considérablement le niveau d'infestation du sol (90,09%) et de maintenir la densité de populations à un niveau faible (7,04 œufs et larves / g de sol) par rapport à la densité initiale (71,03 œufs et larves / g de sol) et cela malgré la culture d'une variété sensible (Spunta). Ces résultats sont comparables aux ceux obtenus par Brodie (1996) qui a montré que le nombre le plus faible de kystes et d'œufs par kyste dans la population finale de *Globodera rostochiensis* a été observé avec un système de culture composé de deux années successives d'un cultivar résistant suivi de l'avoine avec un cultivar sensible cultivé la quatrième année de production.

Le taux de réduction des nématodes a atteint seulement 87,72% dans la parcelle 2, et cela malgré que le système de rotation appliqué est composé des plantes non hôtes. Ceci est due à ce nématode, qui élabore une stratégie limitant l'éclosion en absence de son hôte, permettant aux œufs de persister dans le sol pendant des décennies en l'absence de pomme de terre (Evans et Stone, 1977).

Dans les parcelles 1 et 7, les taux de diminution de densité de ces parasites sont de 74,6 et de 84,24% respectivement. Cela s'explique par le retour de la plante hôte pomme de terre après une courte période de rotation (1 ou 2 ans).

Des faibles taux de réduction enregistrés dans la parcelle 4 et 6 avec 51,08 et 84,24% respectivement. Cela s'explique par la monoculture des plantes hôtes (pomme de terre et la tomate)

Sur la base de ces résultats, la rotation avec des plantes non hôtes en combinaison avec des variétés résistantes peut être une stratégie de gestion pour réduire les densités de populations élevées de nématodes à kystes de la pomme de terre dans son aire de répartition. Ces pratiques peuvent être relativement appliquées par les agriculteurs.

Dans ce contexte, il serait intéressant d'évaluer l'efficacité des autres plantes non hôtes sur ces parasites afin de les introduire dans le système de rotation. De même, il est intéressant d'étudier d'autres méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique notamment les pratiques de la lutte biologique qui sont d'actualités.

QUATRIEME CHAPITRE

**Multiplication des nématodes à
kystes du genre *Globodera* sur
diverses variétés de pomme de
terre**

QUATRIEME CHAPITRE

Multiplication des nématodes à kystes du genre *Globodera* sur diverses variétés de pomme de terre

Les nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* restent une menace permanente à la production de la pomme de terre dans le monde entier (Turner et Evans, 1998) et sont classés parmi les organismes de quarantaine. La mise en place d'un programme de gestion durable et efficace nécessite une parfaite connaissance de ces parasites dans leur biotope, notamment l'identification et l'importance de la multiplication sur les variétés de pomme de terre.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la multiplication de quelques populations de nématodes à kystes du genre *Globodera* sur les différentes variétés de pomme de terre.

IV.1. Matériels et méthodes

IV.1.1. Populations de nématodes

À partir d'une enquête conduite dans diverses régions productrices de la pomme de terre en Algérie sur la répartition et les infestations des nématodes à kystes du genre *Globodera*, 4 populations représentatives de ces nématodes ont été sélectionnées pour étudier leur multiplication sur diverses variétés de la plante hôte. Ces populations ont été récoltées entre juin et août 2016 dans des parcelles de pomme de terre infestées et situées dans quatre régions ; Ain Defla, Alger, Blida et El Oued. Les kystes sont conservés séparément dans des Ependorfs étiquetés jusqu'à leur utilisation. Les caractéristiques de ces populations sont regroupées dans le tableau 25.

Tableau 25. Origine géographique et caractéristiques des populations des nématodes à kystes de la pomme de terre testées.

| Code des populations | Régions | Localités | Identification de la population | Date d'échantillonnage de sol |
|----------------------|-----------|---------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 13 | Alger | Zéralda | <i>Globodera pallida</i> | 10/06/2016 |
| 17 | Blida | Meftah | <i>Globodera pallida</i> | 05/06/2016 |
| 22 | Ain Defla | Ain Defla | <i>Globodera pallida</i> | 18/06/2016 |
| 27 | El Oued | Hassi Khalifa | <i>Globodera rostochiensis</i> | 29/08/2016 |

IV.1.2. Variétés de pomme de terre

Au total, 6 variétés de pomme de terre ont été considérées dans le test de multiplication. 4 sont fréquemment utilisés (Désirée, Spunta, Kondor et Diamant) et 2 sont faiblement utilisées (Arnova et Daifla) en raison de leur introduction respectives en 2002 et 2007. Ces variétés ont été fournies par le centre national de contrôle et de certification des semences et plants (CNCC), El Harrach-Alger. Les tubercules de ces variétés sont germés prêts à planter. Les fiches descriptives des variétés sont présentées en Annexe 6.

IV.1.3. Test de multiplication

Afin de tester la multiplication de ces populations sur différentes variétés de pomme de terre présentées, nous avons réalisé une expérience avec des pots en plastique de dimensions (17 cm de diamètre supérieur x 15 cm de profondeur) perforés à leur base, contenant 2 kg d'un mélange de 50% de sol, 25% de sable et 25% de terreau, et un lit de gravier à la base afin d'assurer le drainage d'eau d'irrigation. Le mélange et le gravier sont préalablement stérilisés.

Chaque population de nématodes a été testée sur 6 variétés de pomme de terre avec 5 répétitions et un témoin (indemne de nématodes) par variété soit un total de 36 pots, ce qui donne un total de 144 pots pour les 4 populations considérées.

Les tubercules de pomme de terre ont été plantés dans les pots le 15/02/2017 à raison d'un tubercule par pot. En même temps, chaque pot a été inoculé avec les kystes contenus dans un petit morceau de tulle et déposés soigneusement à proximité des tubercules. La densité initiale des kystes est variable et elle est de 28, 31, 33 et 36 kystes/pot pour les populations d'El

Oued, de Blida, d'Ain Defla et d'Alger respectivement, qui correspond à environ 5 œufs et larves/g de sol (10 000 œufs et larves/pot). Le nombre moyen d'œufs et de larves/kyste a été déterminé avant la plantation par dénombrement le contenu de trois échantillons de 50 kystes prélevés au hasard dans chaque population, et cela se fait par écrasement de chaque kyste séparément sous la loupe binoculaire puis le comptage des œufs et des larves a été réalisé comme le propose (Nakachia et Jacqemont, 1971; Cunha *et al.*, 2012 ; Hajihassani *et al.*, 2013).

Tous les pots ont été disposés de manière totalement aléatoire en un seul bloc dans un abri serre en plastique situé dans la ferme expérimentale de l'école nationale supérieure d'agronomie, El Harrach-Alger. La figure 34 illustre davantage le dispositif expérimental.

Au cours de la croissance de la culture, les plants ont été arrosés régulièrement.

A la fin de cycle de la culture (environ 100 jours après la plantation), la partie aérienne des plantes matures a été coupée, le système racinaire de chaque pot a été nettoyé et placés dans des sacs référenciés. Les tulles contenant l'inoculum ont été enlevés et le mélange contenu dans chaque pot a été conservé dans des sacs étiquetés pour une analyse.

Au laboratoire, les kystes formés ont été extraits à partir de contenu de pot préalablement séché à l'aide d'un appareil de Fenwick (Fenwick, 1940). De même, les kystes fixés sur les racines ont été extraits. Les racines sont placées dans un seau, et à l'aide d'un jet d'eau les kystes se détachent des racines. L'eau contenant le matériel biologique récolté est versée dans un tamis de 250 μ , puis à l'aide d'un jet d'une pissette le contenu de tamis est récupéré sur un papier filtre et examiné sous la loupe binoculaire et les kystes sont récupérés avec un pinceau fin. Les racines sont enlevées de seau et dilacérées, puis elles sont examinées sous la loupe binoculaire pour retirer les kystes qui y restent fixées.

A la fin de l'essai, les kystes récoltés dans chaque pot (à partir du sol et des racines) sont dénombrés et écrasés afin de quantifier les œufs et les larves pour estimer la densité de population finale des nématodes. De même, le taux de reproduction des nématodes a été calculé en divisant la densité de population finale P_f (nombre d'œufs et de larves/pot) sur la densité de population initiale P_i (nombre d'œufs et de larves/pot).

Analyse des données

Les données recueillies relatifs aux nématodes à kystes *Globodera* sp. (nombre de kystes / pot, nombre œufs et de larves / pot et la fécondité des kystes) ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs (populations de nématodes et variétés de pomme de terre) en utilisant le logiciel Statistica version 6.0.



Figure 34. Dispositif expérimental adopté en serre pour évaluer la multiplication des populations de nématodes *Globodera* sp. sur les diverses variétés de pomme de terre (Originale).

IV.2. Résultats et discussion

IV.2.1. Résultats

Les moyennes calculées des paramètres pris en considération sur 4 populations de nématodes de *Globodera* sp., testées sur 6 variétés de pomme de terre pour la multiplication sont présentées dans les tableaux 26 à 29.

Les résultats consignés dans les tableaux 26 et 27 montrent une grande variation des densités de populations de nématodes testées sur les 6 variétés de pomme de terre. Le nombre moyen de kystes produits varie considérablement de 0,40 à 105. Chez les variétés Désirée et Spunta les nombres moyens sont les conséquents, respectivement de 90,40 à 105,60 et de 40,20 et 57,00. Cependant, le nombre moyen de kystes formés sur les variétés Kondor, Diamant,

Daifla et Arnova reste faible, situé entre 0,40 et 12,20. De même, le nombre moyen d'œufs et de larves varie considérablement de 12,3 à 11521,2. Les niveaux les plus élevés ont été enregistrés chez la variété Désirée avec des moyennes de 10232,2 à 11521,2 suivie par Spunta avec des moyennes comprises entre 3709,8 à 5693,6. Alors que les niveaux les plus faibles varient entre 12,8 et 808,2 ont été notés chez les variétés Kondor, Diamant, Daifla et Arnova.

Une différence de la fécondité des kystes a été constatée entre les populations de nématodes testées sur les variétés de pomme de terre (Tableau 28). Les kystes issues des pots de la variété Désirée présentent les fécondités les plus élevées avec des moyennes allant de 109,67 à 120,85 suivies par ceux quantifiés pour la variété Spunta avec des moyennes situées entre 89,42 et 102,42. En revanche, les kystes issues des pots des variétés Kondor, Diamant, Daifla et Arnova renferment un faible nombre moyen d'œufs et de larves (de 14,85 à 76,34).

Concernant le taux de reproduction moyen des populations de nématodes sur les variétés testées, il diffère significativement, de 0,001 à 1,151. Ce taux reste supérieur à 1 (1,022 - 1,151) pour la population évoluant sur la variété Désirée et varie de 0,370 à 0,569 pour la population dénombrée sur la variété Spunta. Cependant un faible taux de multiplication a été observé sur les populations des variétés Kondor, Diamant, Daifla et Arnova avec des moyennes limitées entre 0,001 et 0,080 (Tableau 29).

Sur la base des résultats recueillies (Tableaux 26, 27, 28 et 29), une variabilité de la multiplication des populations de *Globodera* sp. sur les variétés de pomme de terre est notée. D'une manière générale, les nématodes du genre *Globodera* se développent significativement sur la variété Désirée, montrant de bonnes conditions pour la reproduction des nématodes. Sur cette variété, toutes les populations de nématodes ont produit plus d'œufs et de larves que l'inoculés, c'est-à-dire $P_f / P_i > 1$. Sur la variété Spunta, toutes les populations ont produits un nombre d'œufs et de larves plus que l'inoculés, mais le taux de reproduction reste inférieur à 1. Les populations de nématodes ont montré une certaine variabilité de multiplication sur les variétés Diamant, Daifla et Arnova avec une valeur de $P_f / P_i < 1$. Ces variétés résistent mieux à la population d'El Oued (P_f / P_i varie entre 0,001 et 0,003) par rapport à celles d'Ain Defla, d'Alger et de Blida (P_f/P_i compris entre 0,034 et 0,080). En outre, avec la majorité des populations la variété Diamant est la plus résistante suivie par Daifla et Arnova. Toutes les populations testées sont faiblement multipliées sur la variété Kondor avec une valeur de P_f/P_i comprise entre 0,002 et 0,003.

Tableau 26. Nombre moyen de kystes/pot produit par 4 populations de *Globodera* sp. sur 6 variétés de pomme de terre.

| Population | Désirée | | Spunta | | Kondor | | Diamant | | Daifla | | Arnova | |
|------------|--------------|------------------|-------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|--------------------|------------------|------------|------------------|
| | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne ± Ecartype | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes |
| Ain Defla | 105,60±18,72 | 86 - 130 | 55,00±11,78 | 40 - 72 | 0,80±0,83 | 0 - 2 | 7,60±3,64 | 2 - 11 | 7,40±4,21 | 2 - 13 | 10,40±5,22 | 5 - 19 |
| Alger | 94,20±6,53 | 85 - 101 | 50,20±10,89 | 38 - 63 | 0,40±0,54 | 0 - 1 | 5,40±2,96 | 2 - 10 | 9,40±5,77 | 5 - 17 | 12,20±9,60 | 4 - 26 |
| Blida | 104,40±14,41 | 87 - 123 | 40,20±9,33 | 32 - 56 | 0,60±0,54 | 0 - 1 | 8,40±3,57 | 3 - 12 | 9,00±4,18 | 5 - 15 | 10,20±9,09 | 3 - 25 |
| El Oued | 90,40±4,03 | 86 - 95 | 57,00±15,79 | 30 - 70 | 0,40±0,54 | 0 - 1 | 0,60±0,89 | 0 - 2 | 1,20±1,64 | 0 - 4 | 1,00±1,00 | 0 - 2 |

Tableau 27. Nombre moyen d'œufs et de larves /pot produit par 4 populations de *Globodera* sp. sur 6 variétés de pomme de terre.

| Populati- on | Désirée | | Spunta | | Kondor | | Diamant | | Daifla | | Arnova | |
|-----------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|------------|------------------|--------------|------------------|---------------|------------------|--------------|------------------|
| | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenn | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes |
| Ain Defla | 11521,2±1240,76 | 10299-13300 | 5320,4±1123,13 | 3899-6786 | 33,8±36,64 | 0 - 88 | 482±248,42 | 123 - 727 | 546,44±361,71 | 120-1014 | 808,2±458,33 | 320-1547 |
| Alger | 10301,2±442,62 | 10033-11080 | 5142,4±1198,85 | 3827-6936 | 27,4±38,11 | 0 - 78 | 345,4±257,66 | 113 - 760 | 604,6±535,37 | 133-1300 | 759,6±661,70 | 123-1664 |
| Blida | 10232,2±179,14 | 10045-10448 | 3709,8±854,69 | 3069- 5163 | 31,4±36,24 | 0 - 88 | 568,4±241,83 | 197 - 807 | 666,44±376,20 | 261-1107 | 475,2±519,40 | 115-1371 |
| El Oued | 10913±728,04 | 10091-11834 | 5693,6±1756,25 | 3156-7867 | 23,6±32,59 | 0 - 65 | 12,8±18,03 | 0 - 38 | 34,2±54,04 | 0-129 | 37±45,40 | 0 - 110 |

Tableau 28. Fécondité moyenne de kystes produit par 4 populations de *Globodera* sp. sur 6 variétés de pomme de terre.

| Population | Désirée | | Spunta | | Kondor | | Diamant | | Daifla | | Arnova | |
|------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes |
| Ain Defla | 110,23±8,78 | 102,12-123,51 | 96,84±4,31 | 91,44-102,88 | 25,00±23,19 | 0 - 46 | 62,48±4,89 | 55,16-67,77 | 69,95±9,47 | 60-81,8 | 76,34±10,56 | 64,5-91,2 |
| Alger | 109,67±7,13 | 99,67-118,03 | 102,42±6,62 | 95,57-110,09 | 27,40±38,11 | 0 - 78,00 | 60,36±17,28 | 40,75-80,40 | 54,15±22,84 | 26,60-76,47 | 56,93±14,96 | 30,75-68,11 |
| Blida | 99,46±13,22 | 81,74 - 115,45 | 89,42±6,97 | 80,70-99,52 | 31,40±36,24 | 0 - 88,00 | 67,97±9,30 | 54,58-79,44 | 69,37±15,13 | 52,20-90,30 | 43,53±9,71 | 32,50-54,84 |
| El Oued | 120,85±8,85 | 111,86 -132,24 | 99,96±9,90 | 87,21-112,38 | 32,60±32,50 | 0 - 65,00 | 22,00±26,65 | 0 - 65,00 | 14,85±14,38 | 0 - 32,25 | 21,30±22,87 | 0 - 55,00 |

Tableau 29. Taux de reproduction moyen de 4 populations de *Globodera* sp. sur 6 variétés de pomme de terre.

| Population | Désirée | | Spunta | | Kondor | | Diamant | | Daifla | | Arnova | |
|------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes | Moyenne | Valeurs extrêmes |
| Ain Defla | 1,151±0,124 | 1,029 - 1,330 | 0,531±0,112 | 0,389 - 0,678 | 0,003±0,003 | 0 - 0,008 | 0,047±0,024 | 0,012-0,072 | 0,054±0,035 | 0,012-0,101 | 0,080±0,045 | 0,038-0,154 |
| Alger | 1,029±0,044 | 1,003 - 1,108 | 0,513±0,119 | 0,382 - 0,693 | 0,002±0,003 | 0 - 0,007 | 0,034±0,025 | 0,011-0,076 | 0,06±0,053 | 0,013-0,130 | 0,075±0,066 | 0,012-0,166 |
| Blida | 1,022±0,017 | 1,004 - 1,044 | 0,370±0,085 | 0,306 - 0,516 | 0,002±0,003 | 0 - 0,008 | 0,056±0,024 | 0,019-0,080 | 0,066±0,037 | 0,026-0,110 | 0,047±0,052 | 0,011-0,137 |
| El Oued | 1,090±0,072 | 1,009 - 1,183 | 0,569±0,175 | 0,315 - 0,786 | 0,002±0,003 | 0 - 0,006 | 0,001±0,001 | 0 - 0,003 | 0,003±0,005 | 0 - 0,012 | 0,003±0,004 | 0 - 0,011 |

Exploitation des données

Les résultats de l'analyse de la variance, relatifs aux caractéristiques des populations de nématodes considérées en relation avec les variétés de pomme de terre sont reportés dans les tableaux 30, 31 et 32.

Tableau 30. Effet principal des populations de nématodes et des variétés de pomme de terre sur les nombres des kystes produits.

| Source de variation | Degré de liberté | SC | MC | F | p |
|------------------------|------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Ordre origine | 1 | 96900,8 | 96900,83 | 1526,198 | 0,0001*** |
| Populations | 3 | 557,2 | 185,74 | 2,925 | 0,037718* |
| Variétés | 5 | 151893,2 | 30378,63 | 478,466 | 0,0001*** |
| Populations × Variétés | 15 | 1915,6 | 127,70 | 2,011 | 0,021905* |
| Erreur | 96 | 6095,2 | 63,49 | | |
| Total | 119 | 160461,2 | | | |

*: Différence significative ($p < 0,05$) ***: Différence très hautement significative ($p < 0,001$)

Les résultats montrent qu'il y'a des effets principaux significatifs ($P < 0,05$) et très hautement significatif ($p < 0,001$) respectivement pour les populations de nématodes et les variétés de pomme de terre. De même, il y'a des effets significatifs des interactions entre les populations de nématodes et les variétés de pomme de terre.

Tableau 31. Effet principal des populations de nématodes et des variétés de pomme de terre sur les nombres d'œufs et de larves produits.

| Source de variation | Degré de liberté | SC | MC | F | p |
|------------------------|------------------|----------|-----------|----------|------------|
| Ordre origine | 1 | 9,715732 | 971573212 | 2223,925 | 0,0001*** |
| Populations | 3 | 3,964686 | 1321562 | 3,025 | 0,033314* |
| Variétés | 5 | 1,841718 | 368343615 | 843,136 | 0,0001*** |
| Populations × Variétés | 15 | 1,684356 | 1122904 | 2,570 | 0,002882** |
| Erreur | 96 | 4,193983 | 436873 | | |
| Total | 119 | 1,904466 | | | |

*: Différence significative ($p < 0,05$) **: Différence hautement significative ($p < 0,01$) ***: Différence très hautement significative ($p < 0,001$)

Les résultats de l'analyse de variance mettent en évidence des effets principaux significatifs entre les populations de nématodes et des effets principaux très hautement significatifs entre les variétés de pomme de terre sur le nombre d'œufs et de larves. De plus, des effets principaux hautement significatifs des interactions entre les populations et les variétés.

Tableau 32. Effet principal des populations de nématodes et des variétés de pomme de terre sur la fécondité des kystes produits.

| Source de variation | Degré de liberté | SC | MC | F | p |
|------------------------|------------------|----------|----------|----------|-------------|
| Ordre origine | 1 | 509965,7 | 509965,7 | 1516,179 | 0,0001*** |
| Populations | 3 | 7747,1 | 2582,4 | 7,678 | 0,000119*** |
| Variétés | 5 | 97971,4 | 19594,3 | 58,256 | 0,0001*** |
| Populations × Variétés | 15 | 18788,1 | 1252,5 | 3,724 | 0,000039*** |
| Erreur | 96 | 32289,5 | 336,3 | | |
| Total | 119 | 156796,2 | | | |

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

Les populations de nématodes et les variétés de pomme de terre ainsi que leur interaction montrent encore des effets principaux très hautement significatifs sur la fécondité des kystes (nombre d'œufs et de larves/kyste).

IV.2.2. Discussion

La multiplication des populations testées des nématodes à kystes *Globodera* sp. sur les variétés de pomme de terre sensibles (Désirée et Spunta) confirme la viabilité du nombre des larves contenues dans les kystes inoculés et leur capacité de se transformer en femelles. De même, les conditions pour la reproduction des nématodes sont réunies.

La variété Désirée est un hôte préférentiel comme témoin sensible puisque toutes les populations de nématodes testées se sont bien multipliées sur cet hôte sélectif. Ces résultats confirment ceux obtenus par Cunha *et al.* (2012) qui notent que 43 isolats de *Globodera rostochiensis* et 3 isolats de *Globodera pallida* d'origines Portugaise avaient une bonne reproduction sur la variété Désirée.

La multiplication des nématodes *Globodera* sp. sur les variétés de pomme de terre diffère d'une manière significative en relation avec les diverses variables environnementales. La reproduction des variétés Kondor, Diamant, Daifla et Arnova est nettement inférieure que celle des témoins sensibles. La plus faible multiplication est obtenue chez la variété Kondor. La population de ces parasites et la variété de l'hôte ainsi que leur interaction jouent un rôle déterminant dans cette variabilité et cela a été confirmé statistiquement par l'analyse de la variance, ce qui est en accord avec les rapports antérieurs (Gonzalez *et al.*, 1996; Bendezu *et al.*, 1998 ; Cunha *et al.*, 2012).

Les résultats de la présente expérimentation montrent que dans les mêmes conditions, le développement des populations diffère même sur la variété. Ces résultats s'expliquent par des

différences dans la capacité des populations à se multiplier comme il l'a été observé chez les populations Portugaises de *Globodera* sp. testées sur différents génotypes de pomme de terre par des essais en pots (Cunha *et al.*, 2012).

L'analyse des réactions des variétés de l'hôte montre qu'il existe des réponses différentes dans une même population de nématodes. Vraisemblablement cela est dû aux différences conséquentes en termes de résistance des variétés. Bien que les variétés Diamant, Daifla et Arnova résistent mieux à la population d'El Oued qui est définie comme *Globodera rostochiensis* par rapport à celles d'Ain Defla, d'Alger et de Blida qui représentent *Globodera pallida*. La variété Kondor a montré une plus grande résistance aux populations testées par rapport aux autres variétés. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Djebroune (2013) qui notent que les nématodes *Globodera* sp. se multiplient faiblement dans les parcelles de la variété Kondor.

Des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer davantage la résistance des variétés prises en considération dans cette investigation afin de les utiliser dans des programmes de sélection de pomme de terre résistante aux populations de nématodes en Algérie.

Des essais avec d'autres populations de *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* prélevées dans les autres zones de pomme de terre d'Algérie et sur d'autres variétés permettraient d'approfondir davantage les recherches sur la résistance variétale et de bien gérer ces bioagresseurs avec les variétés résistantes en combinaison avec les autres méthodes de lutte notamment les rotations culturales avec des plantes autres que les Solanacées.

Conclusions générales

Conclusions générales

Les nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera* sont des ravageurs les plus redoutables sur la culture de pomme de terre dans le monde, causant des pertes conséquentes et significatives

Les prospections conduites dans 21 régions potentielles de pomme de terre de l'ouest, du centre, de l'est et du sud algérien ont montré que les nématodes à kystes du genre *Globodera* sont distribués dans les diverses régions prospectées, à l'exception de la région de Biskra. Les fréquences des infestations sont très variables allant de 5 à 75%. Les fréquences les plus élevées ont été enregistrées dans la région de Mostaganem et d'El Oued. Sur les 420 parcelles étudiées, 148 sont infestées par ces parasites, représentant un taux d'infestation global de 35,23%.

La quantification des nématodes a permis de mettre en évidence une variabilité des niveaux d'infestation entre les parcelles et atteint 270 kystes pleines/ kg de sol qui correspond à 85,39 œufs et larves/ g de sol. Les sols légers, les variétés sensibles et la pratique d'une mauvaise rotation des cultures sont des facteurs favorables au développement des nématodes à kystes de la pomme de terre. La majorité des parcelles infestées se limitent à des densités de population inférieures au seuil de nuisibilité qui est de 10 larves/g de sol.

La difficulté dans la détection visuelle de ces ravageurs, le manque de la vulgarisation agricole dans nos régions ainsi que le manque d'intérêt des agriculteurs à toute action de sensibilisation de lutte contre ces nématodes, sont les causes majeures de l'installation et la propagation des espèces de *Globodera*. D'autres prospections sont nécessaires et fondamentales notamment au sud afin de conclure sur la présence et la répartition des nématodes à kystes.

L'étude des caractéristiques morphométriques des juvéniles du deuxième stade et des régions périmales de 36 populations algériennes des nématodes à kystes de la pomme de terre a révélé une diversité morphologique considérable chez ces bioagresseurs et la présence de deux espèces, *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* qui cohabitent séparément la majorité des cas ou en mélange pour certaines populations. Au total, 16 populations

présentent l'espèce *Globodera pallida*, 10 populations renferment l'espèce *Globodera rostochiensis* et 10 populations incluent les deux espèces de ces nématodes. Les deux espèces sont présentes à travers les diverses régions prospectées avec une grande variabilité. En outre, *Globodera pallida* reste l'espèce qui a une plus grande extension dans son aire de répartition.

L'utilisation des techniques moléculaires ; la PCR multiplexe avec les amorces spécifiques aux espèces (ITS5, PITSp4 et PITSr3) et la PCR quantitative avec des sondes TaqMan ont donné des résultats promoteurs dans l'identification des espèces des nématodes à kystes de la pomme de terre et ont confirmé l'identification morphométrique.

Malgré le développement de méthodes d'identification moléculaire, l'utilisation de l'approche morphologique reste un outil de base utile en combinaison avec ces méthodes. En perspective, d'autres méthodes de diagnostic comme les hôtes différentiels pourraient être utilisés pour mieux comprendre la taxonomie des espèces de *Globodera* afin de distinguer les pathotypes au sein de chaque espèce. De même, le comportement biologique des populations de nématodes à kystes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* est fondamental pour contrôler au mieux ces ravageurs de quarantaine.

L'étude de la multiplication de diverses populations de nématodes *Globodera* sp. d'origine algérienne sur une gamme de variétés de pomme de terre a montré une large variabilité de développement de nématodes. Toutes les populations se reproduisent convenablement sur les variétés Désirée et Spunta. Parmi les variétés testées, la variété Kondor développe à un degré moindre ces nématodes parasites. Des tests complémentaires sur cette variété méritent d'être conduits afin de confirmer ces résultats pour un choix variétal dans un programme de sélection de la pomme de terre. De même, il serait intéressant de développer des études sur plusieurs populations de nématodes sur d'autres variétés de pomme de terre pour tirer des informations fiables sur les variétés résistantes.

L'étude de l'impact des rotations culturales sur l'évolution des nématodes effectuées sur plusieurs années a montré que l'introduction des cultures non hôtes, des variétés résistantes et de la jachère dans les systèmes de culture permet de réduire le niveau d'infestation en dessous du seuil nuisible ou des niveaux de détection. Le système de rotation composé de plantes non hôtes et de variétés résistantes est une alternative prometteuse à préconiser. D'autres investigations dans ce domaine avec plusieurs combinaisons des rotations culturales et diverses plantes non hôtes sont souhaitables et peuvent être efficaces, durables et

économiques avec une préservation de l'environnement vis-à-vis de l'introduction de nématocides.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1. Alan G.W. and Susan J.T.,1998.** *Management and regulatory control strategies for potato cyst nematodes (Globodera rostochiensis and G. pallida)*. Pp: 135-152 In: Marks R.J. and Brodie B.B. (eds) *Potato cyst nematodes: biology, distribution, and control*. Ed. CAB International, Wallingford, UK., 408 p.
- 2. 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.
- 3. Bačić J., Gerič Stare B., Širca S. and Urek G., 2008.** Analyses of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* from Serbia by morphometrics and real-time PCR. *Russian Journal of Nematology*, 16, 1: 63-65.
- 4. Bačić J., Gerič Stare B., Širca S. and Urek G., 2013.** Morphometric and molecular analysis of potato cyst nematodes from Serbia. *Zbornik Predavanj in Referatov*, 11: 369-372.
- 5. Bairwa A., Venkatasalam E. P., Sudha R., Umamaheswari R. and Singh B. P., 2017.** Techniques for characterization and eradication of potato cyst nematode: a review. *J Parasit Dis.*, 41(3): 607-620.
- 6. Baldwin J. G. and Mundo-Ocampo M., 1991.** *Heteroderinae, cyst- and non-cyst forming nematodes*. Pp: 275-362 In: Nickle W.R. (ed.), *Manual of Agricultural Nematology*. Ed. Marcel Dekker, NY, USA, 1064 p.
- 7. Bates J.A., Taylor E.J.A., Gans P.T., and Thomas J.E., 2002.** Determination of relative proportions of *Globodera* species in mixed populations of potato cyst nematodes using PCR product melting peak analysis. *Mol. Plant Pathol.*, 3: 153-161.
- 8. Bélair G., 2005.** Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes... par la racine. *Phytoprotection*, 86 (1): 65-69.
- 9. Bélair G., Dauphinais N. and Mimee B., 2016.** Evaluation of cultural methods for the management of the golden nematode (*Globodera rostochiensis*) in Quebec, Canada, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 38 (2): 209-217.
- 10. Blanchard A., 2006.** *Identification, polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kyste de la pomme de terre Globodera pallida*. Thèse de doctorat en Biologie, Université de Rennes1/Agrocampus, 264 p.

- 11. Bossis M. and Mugniéry D., 1993.** Specific status of six *Globodera* parasites of solanaceous plants studied by means of twodimensional gel electrophoresis with a comparison of gel patterns by a computed system. *Fundamental Appl Nematol.*, 16: 47-56.
- 12. Brodie B. B., 1996.** Effect of initial nematode density on managing *Globodera rostochiensis* with resistant cultivars and nonhosts. *Journal of Nematology*, 28: 510-519.
- 13. Brodie B. B., 2001.** Biology and distribution of Potato Cyst Nematodes in North America and their Economic Impact on Potato. *Potato Association of America*, 78: 445.
- 14. Brodie B.B., Evans K and Frnco J., 1993.** *Nematode parasites of potatoes*. Pp. 88-96 In: Evans K ; Trudgill D.L. and Webster J.M. (eds). *Plant parasitic nematodes in temperate Agriculture*. Ed. CAB International USA. 656 p.
- 15. Brown E.B., 1969.** Assessment of the damage caused to potatoes by potato cyst eelworm, *Heterodera rostochiensis* Woll. *Annals of Applied Biology*, 63: 493-502.
- 16. Bulman S. and Marshall J., 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. DOI: 10.1080/01140671.1997.9513998
- 17. Burrows P.R. and Perry R.N., 1988.** Two cloned DNA fragments which differentiate *Globodera pallida* from *Globodera rostochiensis*. *Revue de Nematologica*, 11: 441-445.
- 18. Camacho M.J., Nóbrega F., Lima A., Mota M. and Inácio M. L., 2017.** Morphological and molecular identification of the potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in Portuguese potato fields. *Nematology*, 00: 1-7. DOI 10.1163/15685411-00003094.
- 19. Chabert A., Buisson A., Brun F., Ruck L., Champeil A., Thibord J.B., Taupin P. et Fournet S., 2012.** Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques. *Innovations Agronomiques*, 25 : 205-217.
- 20. Chakali G., 2006.** *Biologie et écologie de l'Hylésine des pins, Tomicus destruens Wollaston, 1865 (Coleoptera-Scolytidae) dans la forêt de Senalba Chergui (Djelfa- Algérie)*. Thèse de doctorat en Science Agronomique, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 139 p.
- 21. Chauvin L., Caromel B., Kerlan M.C., Rulliat E., Fournet S., Chauvin J.E., Grenier E., Ellissèche D. et Mugniéry D., 2008.** La lutte contre les nématodes à kyste de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. *Cahiers Agricultures*, 17(4) : 368-374.
- 22. Chehat F., 2008.** La filière pomme de terre Algérienne : une situation précaire. Pp : 1-13, In Journée d'étude sur la filière pomme de terre : situation actuelle et perspectives, 18 juin 2008. Ed. INA El-Harrach, Alger.

- 23. Chibane A., 1999.** Techniques de production de la pomme de terre au Maroc. Bull. Mens. De liaison et d'information du PNTTA ; MADRPM. DERM. N° 52, Inst. Agro. Hassen II ; Rabat- Mroc, 8 p.
- 24. Colin C.F. and Thomas O.P., 1998.** *Potato cyst nematode diagnostics: morphology, differential hosts and biochemical techniques.* Pp 91-114. In: Marks RJ, Brodie BB (eds) *Potato cyst nematodes: biology, distribution, and control.* Ed. CAB International, Oxford, 420p.
- 25. Coyne D. L., Nicol J. M. et Claudius-Cole B., 2010.** *Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire.* Ed. IITA, Nigeria, 93 p.
- 26. Cunha M., Conceição I., Abrantes I., Evans K. and Santos S., 2004.** Characterisation of potato cyst nematode populations from Portugal. *Nematology*, 6: 55-58. DOI: 10.1163/156854104323072928.
- 27. Cunha M. J. M. da, Conceição I. L. P. M. da, Abrantes I. M. de O. and Santos M.S.N. de A., 2012.** Virulence assessment of Portuguese isolates of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.). *Phytopathologia Mediterranea*, 51 (1): 51-68.
- 28. Cunha M.J., Da I.L.P., Da Conceicao L.M., Pires I.M., Abrantes de O. and De M.S.N. and Santos A., 2002.** Protein variation in potato cyst nematodes revealed by capillary electrophoresis. *Nematology*, 4: 168 (abstract).
- 29. Darpoux R. et Debelley M., 1967.** *Les plantes sarclées.* Ed. BAILLIERE e FILS, Paris, 307 p.
- 30. De Boer J.M., Overmars H.A., Bakker J. and Gommers F.J., 1992.** Analysis of two-dimensional protein patterns from developmental stages of the potato cyst-nematode, *Globodera rostochiensis*. *Parasitology*, 105: 461-474.
- 31. De Lagarde J., 1983.** *Initiation à l'analyse des données.* Ed. Paris, 157 p.
- 32. Den Nijs L.J.M.F. and Lock C.A.M., 1990.** Quantification of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in mixed populations using species specific thermos table proteins. *Neth J Plant Pathol*, 96: 179-186.
- 33. Desgarenes D., Carrión G., Núñez-Sánchez A.E. and Núñez-Camargo M.C., 2006.** Distribution of stages and in vitro larval hatching in *Globodera rostochiensis* cysts. *Nematropica*, 36: 251-260.
- 34. Devine K. J., Dunne C., O'Gara F. and Jones P. W., 1999.** The influence of in-egg mortality and spontaneous hatching on the decline of *Globodera rostochiensis* during crop rotation in the absence of the host potato crop in the field. *Nematology*, 1(6): 637-645.

- 35. Djebroune A., 2013.** 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 Agronomie, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, El Harrach, Alger, 171 p.
- 36. Douda O., Zouhar M., Renčo M. and Marek M., 2014.** Molecular and morphological exploration of a mixed population of two potato-parasiting nematode species, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Helminthologia*, 51: 3-6. DOI: 10.2478/s11687-014-0201-3.
- 37. Duvauchelle S., 2013.** Nématodes des pommes de terre, tour d'horizon à ras du sol. *Phytoma*, n° 660, janvier 2013 : 12-18.
- 38. Duvauchelle S. et Dubois L., 1997.** Evolution sanitaire des cultures de pommes de terre en 1996: Marquée par une recrudescence des pucerons. *Phytoma - LdV*, 495 :17-19.
- 39. Ellenby C., 1954.** Tuber forming species and varieties of the genus *solanum* tested for resistance to the potato root eelworm *Heterodera rostochiensis* wollenweber. *Euphytica*, 3: 195-202.
- 40. Ellissèche D., 1996.** La plante ; aspects physiologiques de la croissance et du développement. Pp. 71-124 in Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C. (eds), *La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation*. Ed. INRA et ITCF, Paris, 607 p.
- 41. Elston D., Phillips M. and Trudgil D. 1991.** The relationship between initial population density of potato cyst nematode *Globodera pallida* and the yield of partially resistant potatoes. *Revue Nématol.* 14(2): 221-229.
- 42. Evans K., 1993.** New approaches for potato cyst nematode management. *Nematotropica*, 23: 221-231.
- 43. Evans K. and Stone A. R., 1977.** A review of the distribution and biology of the potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Int J Pest Manage.*, 23: 178-189.
- 44. Evans K., Franco J. and Maria M. De Scurrah, 1975.** Distribution of Species of Potato Cyst-Nematodes in South America. *Nematologica*, 21 (3): 365-369. DOI: 10.1163/187529275X00103.
- 45. Evans K., Webster R. M., Halford P. D., Barker A. D., and Russell M. D., 2002.** Site-specific management of nematodes-pitfalls and practicalities. *Journal of Nematology*, 34: 194-199.
- 46. FAOSTAT, 2019.** URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize/>. 85. (accédé: 04 Juillet 2019).
- 47. Fenwick D. W., 1940.** Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera schachtii* from soil. *Journal of Helminthology*, 18: 155-172.

- 48. Ferris V.R., Ferris J.M. and Faghihi J., 1993.** Variation in spacer ribosomal DNA in some cyst-forming species of plant-parasitic nematodes. *Fundamental and Applied Nematology*, 16: 177-184.
- 49. Ferris V.R., Faghihi J., Ireholm A. and Ferris J.M., 1994.** Comparisons of isolates of *Heterodera avenae* using 2-D PAGE protein patterns and ribosomal DNA. *Journal of Nematology*, 26: 144-151.
- 50. Ferris V.R., Miller L.I., Faghihi J. and Ferris J.M., 1995.** Ribosomal DNA comparisons of *Globoedera* from two continents. *J. Nematol.*, 27: 273-283.
- 51. Finkers-Tomczak A., 2011.** *Co-evolution between Globodera rostochiensis and potato driving sequence diversity of NB-LRR resistance loci and nematode suppressors of plant immunity*. Ed. Wageningen University, 200 p.
- 52. Fleming, C. C. and Marks R. J., 1982.** A method for the quantitative estimation of *Globoedera rostochiensis* and *Globoedera pallida* in mixed-species samples. *Record of Agricultural Research*, 30: 67-70.
- 53. Fleming C.C. and Powers T.O., 1998.** Potato cyst nematode diagnostics: morphology, differential hosts and biochemical techniques. Pp. 91-114 in Marks R.J. and Brodie B.B. (Eds.), *Potato cyst nematodes: biology, distribution and control*. Ed. CAB International, Wallingford, UK, 420 p.
- 54. Fleming C. C. and Turner J. S., 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.
- 55. Fleming C.C., Rao J., Moreland B., Craig D. and Turner S.J., 2000.** Diagnostics of cyst nematodes and tephritid fruit flies using mitochondrial and ribosomal DNA. *EPPO Bulletin*, 30: 585-590.
- 56. Franco J. 1986.** Potato Cyst Nematode, *Globoedera* spp. Technical Information, Bulletin 9. International Potato Center (CIP), 21 pp.
- 57. Frézal 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*, 40 : 71-74.
- 58. Fullaondo A., Vicario A., Aguirre A., Barrena I. and Salazar A., 2001.** Quantitative analysis of two-dimensional gel electrophoresis protein patterns: a method for studying genetic relationships among *Globoedera pallida* populations. *Heredity*, 87: 266-272.
- 59. García D., García C., Montero Z., Salazar L., Brenes A. and Gómez-Alpízar L., 2009.** Morphological and molecular identification of potato cyst-forming nematode

Globodera pallida in soil samples from Costa Rica. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 15: 38-45.

60. Greco N. and Moreno I., 1992. Development of *Globodera rostochiensis* during three different growing seasons in Chile. *Nematropica*, 22: 175-181.

61. Greco N., Inserra R.N., Brandonisio A., Tirro A. and Marinis G., 1988. Life cycle of *Globodera rostochiensis* on potato in Italy. *Nematol.medit.*, 16: 69-73.

62. Grenier E. et Mimee B., 2017. Les nématodes à kystes de la pomme de terre dans le monde: Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur leur répartition et leur évolution. *Bulletin de l'Alliance Globodera*, Septembre 2017, Édition 4, 6 p.

63. Golden A.M. and Ellington D.M.S., 1972. Redescription of *Heterodera rostochiensis* (Nematoda: Heteroderidae) with a key and notes on closely related species. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 39 (1): 64-78.

64. Gonzalez J.A., Phillips M.S. and Trudgill D.L., 1995. Rflp analysis in Canary Islands and North European populations of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.). *I. Anal High Copy Fragm Nematol*, 41: 468-479.

65. Groza M., Costache C. and Boroş 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: 409-413.

66. Grubišić D., Pajač Živković I., Gotlin Čuljak T., Brmež M., Benković-Lačić T. and Mešić A., 2013. First molecular detection of Croatian potato cyst nematode (PCN) populations using the polymerase chain reaction (PCR). *Entomology Croatia.*, 17, Num1-4: 35-40.

67. Hajihassani A., Ebrahimian E. and Hajihassani M., 2013. Estimation of yield damage in potato caused by Iranian population of *Globodera rostochiensis* with and without aldicarb under greenhouse conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15: 352-356.

68. Hajji-Hedfi L., Hloua W., Gamaoun W., Chihani N., Regaieg H. and Horrigue-Raouani N., 2017. Management of potato cyst nematode (*Globodera rostochiensis*) with Oxamyl. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, CSIEA, 2591-2596.

69. Handoo Z.A., Carta L.K., Skantar A.M. and Chitwood D.J., 2012. Description of *Globodera ellingtonae* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) from Oregon. *Journal of Nematology*, 44: 40-57.

70. Hinch J.M., Alberdi F., Smith S.C., Woodward J.R. and Evans K., 1998. Discrimination of European and Australian *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* pathotypes by high performance capillary electrophoresis. *Fundam Appl Nematol*, 21: 123-128.

- 71. Hlaoua W., Kallel S. et Horrigue-Raouani N., 2010.** Effets des composantes de l'environnement et des pratiques culturelles sur les communautés des nématodes associées à la culture de pomme de terre en Tunisie. *Nematol. medit.*, 38: 13-26.
- 72. Hlaoua W., Horrigue-Raouani N., Fouville D. and Mugniery D., 2008.** Morphological and molecular characterisation of potato cyst nematode populations from Tunisia and survey of their probable geographical origine. *Biotechnology*, 7: 651-659.
- 73. Hodda M. and Cook D.C., 2009.** Economic impact from unrestricted of spread potato cyst nematodes in Australia. *Phytopatology*, 99 (12): 1387-1393.
- 74. Huijsman C.A., 1961.** The influence of resistant potato varieties on the soil population of *Heterodera rostochiensis* Woll. *Nematologica*, 6: 177-180.
- 75. Ibrahim S. K., Abi Saad H. and Mousa N., 2004.** Potato cyst nematodes *globodera* spp. in lebanon - occurrence and distribution. *Lebanese Science Journal*, 5(1): 25-36.
- 76. Ibrahim S.K., Saad A.T., Haydock P.P.J. and Al-Nasri Y., 2000.** Occurrence of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* in Lebanon. *Nematology*, 2(2):125-128. DOI: 10.1163/156854100508926.
- 77. Ibrahim S.K., Mama M., Israel A. and Ibrahim L., 2017.** The Occurrence, Distribution and Control of Potato Cyst Nematodes in Lebanon. *American Journal of Agricultural Science*, 4(3): 51-57.
- 78. Ibrahim S.K., Minnis S.T., Barker A.D.P., Russell M.D., Haydock P.P.J., Evans K., Grove I.G., Woods S.R. and 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.
- 79. Inagaki H., 1978.** Decrease of *Globodera rostochiensis* population by resistant potato varieties and non-host crops in greenhouse trials. *Jap. J. Nematol.*, 8: 11-15.
- 80. INPV, 2009.** Nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*. Ed. *Institut National de la Protection des Végétaux (INPV)*, 4 p.
- 81. INPV, 2017.** *Xylella fastidiosa*, surveillance et vigilance pour préserver le patrimoine végétal national. *Infos phyto, bulletin d'informations phytosanitaires* n° 45, Janvier 2017, ISSN 1112-2536, 4 p.
- 82. Iriarte L., Franco J. and Ortuño N., 1999.** Efecto de abonos orgánicos sobre las poblaciones de nematodos y la producción de la papa. *Rev Latinoam Papa*, 11:149-163.
- 83. Jones M.G.K and Northcote D.H., 1972.** Nematode-induced syncytium-multinucleate transfer cell. *Journal of Cell Science*, 10: 789-809.

- 84. Karlen C., Priou S., Jouan B., Pasco C., Prior P., Samson R., Corbière R., Tivoli B., Bedin P., Duvauchelle S., Andrivon D., Elimane R. and Perraton B., 1996.** Les ennemis ; maladies. PP. 231-336 in : Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C. (eds), La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation. Ed. INRA et ITCF, Paris, 607 p.
- 85. Karnkowski W., Kaczmare A., Dobosz R., Wiczorek P. and Obrępańska-Stęplowska A., 2012.** Occurrence of the white potato nematode *Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens, 1975 (Nematoda: Heteroderidae) on the territory of Poland. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 52 (4): 1087-1092.
- 86. Karszen G., Van Hoenselaar T., Verkerk-Bakker B. and Janssen R., 1995.** Species identification of cyst and root-knot nematodes from potato by electrophoresis of individual females. *Electrophoresis*, 16: 105-109.
- 87. Kingsnorth C.S., Kingsnorth A.J., Lyons P.A., Chwaesczynska D.M. and Asher M.J.C., 2003.** Real-time analysis of *Polymyxa beta* GST expression in infected sugar beet. *Molecular Plant Pathology*, 4: 171-176.
- 88. Knoetze R., Swart A. and Lowwrens R.T., 2013.** Description of *Globodera capensis* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) from South Africa. *Nematology*, 15: 233-250.
- 89. Kort J., Ross H., Rumpfenhorst H.J. and Stone A.R., 1977.** An international scheme for the identification of pathotypes of potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologica*, 23(3): 333-339.
- 90. Lax P., Rondan Dueñas J.C., Franco-Ponce J., Gardenai C.N. and Doucet M.E., 2014.** Morphology and DNA sequence data reveal the presence of *Globodera ellingtonae* in the Andean region. *Contributions to Zoology*, 83: 227-243.
- 91. Lee I.H., Shin S.Y. and Zhang B.T., 2007.** *Multiplex PCR Assay Design by Hybrid Multiobjective Evolutionary Algorithm*. Pp. 376-385 In: Obayashi S., Deb K., Poloni C., Hiroyasu T., Murata T. (eds) *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*. EMO 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4403. Ed. Springer, Berlin, Heidelberg, 951 p.
- 92. López-Lima D., Sánchez-Nava P., Carrión G. and Núñez-Sánchez A., 2013.** 89 % reduction of a potato cyst nematode population using biological control and rotation. *Agron. Sustain. Dev.*, 33 (2): 425-431.
- 93. Madani M., Subbotin S. and Moens M., 2005.** Quantitative detection of the potato cyst nematodes, *Globodera pallida*, and the beet cyst nematode, *Heterodera schachtii*, using real-time PCR with SYBR Green I dye. *Mol. Cell. Probes*, 19: 81-86.
- 94. Madani M., Ward L.J., and 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*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 30: 554-564.

- 95. MADR, 2018.** Pomme de terre : l'algérien en consomme 3 fois que la moyenne mondiale. Radio Algérienne, 24/07/2018-09:42, <http://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20180724/146819.html>
- 96. MADRP/DSASI, 2019.** Ministère d'Agriculture et de Développement Rural et de la Pêche. Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes Informatiques (DSASI).
- 97. Manduric S., Olsson E., Englund J.E. and Andersson S., 2004.** Separation of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* (Tylenhida: Heteroderidae) using morphology and morphometrics. *Nematology*, 6: 171-181.
- 98. Manorama K., Somasekhar N. and Umamaheswari R., 2016.** Integrated potato cyst nematode (*Globodera* sp.) management strategies for south Indian hills. *Indian Journal of Plant Protection*, 44: 132-140.
- 99. Marshall J.W., 1993.** Detecting the presence and distribution of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* mixed populations in New Zealand using DNA probes. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 21 (3): 219-223, DOI: 10.1080/01140671.1993.9513772.
- 100. Marshall J.W. and Crawford A.M., 1987.** A cloned DNA fragment that can be used as a sensitive probe to distinguish *Globodera pallida* from *Globodera rostochiensis* and other common cyst forming nematodes. *J Nematol*, 19: 541 (abstract).
- 101. Merny G. et Luc M., 1996.** Les techniques d'échantillonnage des peuplements de nématodes dans le sol. Pp. 237-272 in : Masson et Cie (eds), *Problème d'écologie : L'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres*. Ed. Masson et Cie, Paris, 360 p.
- 102. Mezerket A., Hammache M., Cantalapiedra-Navarrete C., Castillo P. and Palomares-Rius J. E., 2018.** Prevalence, identification, and molecular variability of potato cyst nematodes in Algeria. *J. Agr. Sci. Tech.*, 20: 1293-1305.
- 103. Meziane D., 1991.** Histoire de la pomme de terre. *Detitique*, n°25, 29 p.
- 104. Minnis S.T., Haydock P.P.J., Ibrahim S.K., Grove I.G., Evans K. and Russell M.D., 2002.** Potato cyst nematodes in England and Wales - occurrence and distribution. *Ann. Appl. Biol.*, 140: 187-195.
- 105. Moens M., Perry N. R. and Jones T. J., 2018.** *Cyst Nematodes-Life Cycle and Economic Importance*. Pp. 1-26. In: Perry N. R., Moens M. and Jones T. J. (eds) *Cyst Nematodes*. Ed. CAB International, Wallingford, UK, 464p.
- 106. Mugniéry D., 1975.** Importance des dégâts provoqués par les nématodes à kyste de la pomme de terre, *H. rostochienensis* Wooll et *H. pallida* Stone. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 60: 636-644.

- 107. Mugniery D., 1978a.** Vitesse de développement, en fonction de la température, de *Globodera rostochiensis* et *G. pallida* (Nematoda : Heteroderidae). *Rev. Nématol.*, 1 (1) : 3-12.
- 108. Mugniery D., 1978b.** Lutte culturale contre les nématodes à kystes de la pomme de terre, *Globodera rostochiensis* Woll. et *G. pallida* St. et perspectives de lutte intégrée. *Ann. Zool. Ecol. anim.*, 10 : 187-203.
- 109. Mugniery D. et Oger M., 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. *Agronomie*, 2 (7) : 629-640.
- 110. Mugniery D. et Zaouchi H., 1973.** Réalisation de lutte intégrée en Algérie contre les nématodes dorés de la pomme de terre. *Conf. O. E. P. P. sur Heterodera rostochiensis*. Aarhus, 9-11 juillet 1973.
- 111. Mugniery D., Balandras C. et Madeleine O., 1984.** Examen des possibilités d'éradication du nématode à kystes, *Globodera pallida* Stone. *Agronomie*, 4 (8) : 773-778.
- 112. Mugniery D., Robert Y. et Blanc M., 1996.** Les ennemis ; les ennemis animaux. Pp. 163-230 in Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C. (eds), La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation. Ed. INRA et ITCF, Paris, 607 p.
- 113. Mulvey R.H. and Stone A.R., 1976.** Description of *Punctodera matadorensis* n.gen., n.sp. (Nematoda: Heteroderidae) from Saskatchewan with lists of species and generic diagnoses of *Globodera* (n. rank), *Heterodera*, and *Sarisodera*. *Canadian Journal of Zoology*, 54: 772-785.
- 114. Mwangi J.M., Kariuki G.M., Waceke J.W. and Grundler F.M., 2015.** First report of *Globodera rostochiensis* infesting potatoes in Kenya. *New Disease Reports*, 31: 18.
- 115. Nakachia J. M. et Jacqemont R., 1971.** *L'analyse nématologique*. Pp.759-792 in Ritter M. (ed) *Les nématodes des cultures*-Journées d'études et d'information, Paris 3, 4, 5 novembre 1971. Ed. ACTA-FNGPC, Paris, 828 p.
- 116. Nakhla M.K., Owens K.J., Li W. and Wei G., 2010.** Multiplex real-time PCR assays for the identification of the potato cyst and tobacco cyst nematodes. *Plant Dis*, 94: 959-965.
- 117. Nikitin M. M., Statsyuk V. N., Frantsuzov A. P., Pridannikov V. M. and Golikov G. A., 2017.** Rapid and simple detection of two potato cyst nematode species by real-time multiplex PCR using preserved microarray-based test systems. *Russian Journal of Nematology*, 25 (1): 51- 60.
- 118. Nowaczyk K., Dobosz R., Kornobis S. and Obrepalska-Stepulowska A., 2008.** TaqMan REAL-Time PCR-based approach for differentiation between *Globodera rostochiensis* (golden nematode) and *Globodera artemisiae* species. *Parasitol Res.*, 103(3): 577-581.

- 119. OEPP, 2004.** Diagnostic protocols for regulated pests, *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. PM 7/40 (1). *OEPP/EPPO Bull.*, 34: 309-314.
- 120. OEPP, 2013.** PM 7/40 (3) *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 43: 119-138. DOI: 10.1111/epp.12025.
- 121. OEPP, 2017.** PM 7/40 (4) *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 47: 174-197. DOI: 10.1111/epp.12391.
- 122. Oro V., Ivanović Ž., Nikolić B. Barszi L., Radivojević M. and Jovčić B., 2010.** Morphological and molecular identification of potato cyst nematode populations in Serbia. *Arch. Biol. Sci.*, Belgrade, 62: 747-754.
- 123. Ostojić I., Grubišić D., Zovko M., Miličević T. and Gotlin Čuljak T., 2011.** First Report of the Golden Potato Cyst Nematode, *Globodera rostochiensis*, in Bosnia and Herzegovina. *The American phytopathological Society*, Vol. 95, No. 7, 883.
- 124. Özarslandan A., Dinçer D., Bozbuga R., İmren M. and Elekcioglu İ. H., 2019.** A Study on the Presence of Potato Cyst Nematodes: *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959 and *Globodera pallida* Stone 1973 (Tylenchida: Heteroderidae) in Nevşehir Province, Turkey. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 6(2): 125-129.
- 125. Pacajes G., Franco J., Esprella R. and Main G., 2002.** Efecto de diferentes cultivos y prácticas culturales sobre la multiplicación del nematodo quiste de la papa (*Globodera* spp.) en Bolivia. *Rev Latinoam Papa*, 13: 52-65.
- 126. Phillips M.S., 1989.** *The Role of Cyst Nematodes in Crop Rotations in Potato*. Pp: 95-109 In: Vos J., Van Loon C.D. and Bollen G.J. (eds) *Effects of Crop Rotation on Potato Production in the Temperate Zones. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 40. Ed. Wageningen, The Netherlands. 312 p.
- 127. Phillips M.S., 1994.** *Inheritance of resistance to nematodes*. Pp 319-338 In: Bradshaw J.E. and Mackey G.R. (eds.) *Potato Genetics*. Ed. CAB International, Cambridge, 552p.
- 128. Phillips M.S., Harrower B.E., Trudgill D.L., Catley M.A. and Waugh R., 1992.** Genetic variation in British populations of *Globodera pallida* as revealed by isozyme and DNA analyses. *Nematologica*, 38: 304-319.
- 129. Pylypenko L.A., Uehara T., Phillips M.S., Sigareva D.D. and Blok V.C., 2005.** Identification of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in the Ukraine by PCR. *European Journal of Plant Pathology*, 111: 39-46.

- 130. Quader M., Nambiar L. and Cunnington J., 2008.** Conventional and real-time PCR-based species identification and diversity of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.) from Victoria, Australia. *Nematology*, 10: 471-478.
- 131. Raski D.J., 1950.** The life history and morphology of the sugar-beet nematode, *Heterodera schantii* Schmidt. *Phytopathology*, 40: 135-152.
- 132. Rasmussen R., Morrison T., Herrmann M. and Wittwer C., 1998.** Quantitative PCR by continuous fluorescence monitoring of a double strand DNA specific binding dye. *Biochemica* 2, 8-11.
- 133. Rawsthorne D. and Brodie B. B. 1986.** Root growth of susceptible and resistant potato cultivars and population dynamics of *Globodera rostochiensis* in the field. *J Nematol.*, 18: 501-504.
- 134. Reid A., 2009.** PCR detection of potato cyst nematode. *Methods Mol. Biol.*, 508: 289-294.
- 135. Rossignol L. et Rousselle-Bourgeois F., 1996.** *La plante; Botanique, morphologie et taxinomie.* Pp. 49-69 in Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C. (Eds), *La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation.* Ed. INRA et ITCF, Paris, 607 p.
- 136. Ryan N.A., Duffy E.M., Cassells A.C. and Jones P.W., 2000.** The effect of mycorrhizal fungi on the hatch of potato cyst nematodes. *Appl. Soil Ecol.*, 15: 233-240.
- 137. Salazar A. and Ritter E., 1993.** Effects of day length during cyst formation, storage time and temperature of cysts on the in vitro hatching of *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallid.* *Fundam. Appl. Nématol.*, 16(06): 567-572.
- 138. Schneider J. et Mugniéry D., 1971.** *Les nématodes parasites de la pomme de terre.* Pp. 327-348 in Ritter M. (ed) *Les nématodes des cultures-Journées d'études et d'information,* Paris 3, 4, 5 novembre 1971. Ed. ACTA-FNGPC, Paris, 828 p.
- 139. Scholte K. 2000.** Growth and development of plants with potential for use as trap crops for potato cyst nematodes and their effects on the numbers of juveniles in cysts. *Annals of Applied Biology*, 137 (1): 31-42.
- 140. Scholte K. and Vos J., 2000.** Effects of potential trap crops and planting date on soil infestation with potato cyst nematodes and rootknot nematodes. *Annals of Applied Biology*, 137: 153-164.
- 141. Scotto La Massese 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.

- 142. Seenivasan N., 2017.** Status of potato cyst nematodes, *Globodera* spp. infection on potato at Kodaikanal hills of Tamil Nadu, India and yield loss estimation. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5 (5): 268-272.
- 143. Seesao Y., Gay M., Merlin S., Viscogliosi E., Aliouat-Denis C. and Audebet C., 2016.** A review of methods for nematode identification. *Journal of Microbiological Methods*, 138: 37-49. DOI: 10.1016/j.mimet.2016.05.030.
- 144. Shields R., Fleming C. C. and Stratford R., 1996.** Identification of potato cyst nematodes using the polymerase chain reaction. *Fundam. appl. Nematol.*, 19 (2),167-173.
- 145. Singh S.K., Hodda M. and Ash G.J., 2013.** Plant-parasitic nematodes of potential phytosanitary importance, their main hosts and reported yield losses. *EPPO Bull.*, 43: 334-374.
- 146. Skantar A. M., Handoo Z. A., Carta L. K. and Chitwood D. J., 2007.** Morphological and molecular identification of *Globodera pallida* associated with potato in Idaho. *Journal of Nematology*, 39: 133-144.
- 147. Spire D. et Rousselle P., 1996.** *La plante; Origine socio-historique*. Pp. 25-48 in Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C. (Eds.), *La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation*. Ed. INRA et ITCF, Paris, 607 p.
- 148. Stone A. R., 1972.** *Heterodera pallida* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae), a second species of potato cyst nematode. *Nematologica*, 18 (4): 591-606.
- 149. Subbotin S.A., Paul D.H. and Roland N.P., 1999.** Identification of populations of potato cyst nematodes from Russia using protein electrophoresis, rDNA-RFLPs and RAPDs. *Rus J Nematol*, 7: 57-63.
- 150. Subbotin S.A., Waeyenberge L. and Moens M., 2013.** *Molecular systematics*. Pp. 40-72. In: Perry R.N. and Moens M. (eds) *Plant Nematology*, 2nd edn. Ed. CAB International, Wallingford, UK, 568 p.
- 151. Sudha R., Venkatasalam E. P., Mhatre priyank H., Arti bairwa A. and Divya K. L., 2017.** Influence of potato cyst nematode infestation in different Potato Varieties. *Indian Journal of Nematology*, 47: 20-26.
- 152. Susana Maria N. De A. Santos and Fatima M. M. Fernandes, 1988.** The occurrence of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in Portugal. *Nematol. medil.*, 16: 145.
- 153. Susana M. N. De A. Santos, Evans K., Abreu C. A., Martins F.F. and Isabel M. De O. Abrantes, 1995.** A review of potato cyst nematodes in Portugal. *Nematol. Medit.*, 23: 35-42.

- 154. Širca S. and Urek G., 2004.** Morphometrical and ribosomal DNA sequence analysis of *Globodera rostochiensis* and *Globodera achilleae* from Slovenia. *Russian Journal of Nematology*, 2: 161-168.
- 155. Širca S., Geric Stare B., Strajnar P. and Urek G., 2010.** PCR-RFLP diagnostic method for identifying *Globodera* species in Slovenia. *Phytopathol. Mediterr.*, 49: 361-369.
- 156. Thiery M. and Mugniery D., 1996.** Interspecific rDNA restriction fragment length polymorphism in *Globodera* species, parasites of Solanaceous plants. *Fundam. Applied Nematol.*, 19: 471-479.
- 157. Tiilikkala K., 1991.** Effect of crop rotation on *Globodera rostochiensis* and on potato yield. *Ello Bulletin*, 21 (1): 41-47.
- 158. Tirchi N., Troccoli A., Fanelli E., Mokabli A., Mouhouche F. and De Luca F., 2016.** Morphological and molecular identification of potato and cereal cyst nematode isolates from Algeria and their phylogenetic relationships with other populations from distant their geographical areas. *European Journal of Plant Pathology*, 146: 861-880. DOI 10.1007/s10658-016-0965-z.
- 159. Tobin J.D., Haydock P.P.J., Hare M.C., Woods S.R. and 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. *Biological control*, 46: 194-201.
- 160. Toida Y. and Ekanayake H. M. R. K., 1992.** Occurrence and Distribution of the Potato Cyst Nematode, *Globodera rostochiensis* (WOLLENWEBER, 1923) in Sri Lanka. *Jpn. J. Nematol.*, 22: 43-48.
- 161. Toyota K., Shirakashi T., Sato E., Wada S. and Min Y.Y., 2008.** Development of a real-time PCR method for the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* and the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54: 72-76.
- 162. Trifonova Z., 2000.** Distribution of *Globodera rostochiensis* (Woll.) in Bulgaria. *Macedonian Agricultural Review*, 1: 63-65.
- 163. Trifonova Z. and Karadjova J., 2003.** Fungal parasitism of the cyst and eggs of the *Globodera rostochiensis*. *Journal of Agriculture Science*, 48(1): 103-110.
- 164. Trudgill L., 1986.** Yield losses caused by potato cyst nematodes: a review of the current position in Britain and prospects for improvements. *Annals of Applied Biology* 108: 181-198.
- 165. Trudgill D.L., Philips M.S. and Alphey T.J.W., 1987.** Integrated control of potato cyst nematode. *Outlook Agric.*, 16, 167-172.

- 166. 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.
- 167. Turner S.J. and Evans K., 1998.** The origins, global distribution and biology of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* (Woll.) and *Globodera pallida* (Stone)). Pp. 7-26. In: Marks R.J. and Brodie B.B. (eds) *Potato Cyst Nematode. Biology, Distribution and Control*. CAB International, Wallingford, UK, 420 p.
- 168. Turner S.J. and Subbotin S.A., 2013.** *Cyst nematodes*. Pp. 109-143 In: Perry R.N. and Moens M. (eds) *Plant Nematology*, 2nd edn. Ed. CAB International, Wallingford, UK, 568 p.
- 169. Urek G., Širca S. and Meglič V., 2002.** Morphological Characteristics and Distribution of *Globodera* Species in Slovenia. Proc. 6th Conf. EFPP 2002, Prague. *Plant Protect. Sci.*, 38 (Special Issue 2): 354-357.
- 170. Urek G., Širca S., Geric Stare B., Dolničar P. and Strajnar P., 2008.** The influence of potato cyst nematode *G. rostochiensis* infestation on different potato cultivars. *Journal of Central European Agriculture*, 9: 71-76.
- 171. Van de Vossen B., Voogd J., Westenberg M. and Karssen G., 2014.** Comparison of three conventional PCR test (Bulman & Marshall, 1997) versions for the molecular identification of *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* cysts and juveniles. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 44, 27-33. DOI: 10.1111/epp.12101
- 172. Vejl P., Skupinová S., Sedlák P. and 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.
- 173. Viaene N.M., Coyne D.L. and Kerry B.R., 2006.** *Biological and cultural management*. Pp. 346-369 In: Perry R.N. and Moens M. (Eds) *Plant nematology*. Ed. CAB international, Wallingford, UK, 568p.
- 174. Vrain T.C., Wakarchuk D.A., Lévesque A.C. and Hamilton R.I., 1992.** Intraspecific rDNA restriction fragment length polymorphism in the *Xiphinema americanum* group. *Fundamental and Applied Nematology*, 15: 563-573.
- 175. Waeyenberge L., 2018.** *Biochemical and Molecular Identification*. Pp. 419-441 In: Perry N. R., Moens M. and Jones T. J. (eds) *Cyst Nematodes*. Ed. Ed. CAB International, Wallingford, UK, 464p.
- 176. Wendt K.R., Vrain T.C. and Webster J.M., 1993.** Separation of three species of *Ditylenchus* and some host races of *D. dipsaci* by restriction fragment length polymorphism. *Journal of Nematology*, 25: 555-563.

- 177. Whitehead A.G., Tite D.J., Fraser J.E. and Nichols A.J.F., 1984.** Differential control of potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* by oxamyl and the yield of resistant and susceptible potatoes in treated and untreated soil. *Ann. Appl. Biol.*, 105: 231-244.
- 178. Winslow R.D. and Willis R.J., 1972.** *Nematode Diseases of Potatoes*. Pp: 17-48. In: Webster J.M. (ed) *Economic Nematology*. Ed. Academic Press London, 563 p.
- 179. Youssef M.M.A., 2013.** Potato nematodes and their control measures: a review. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 46: 1371-1375.
- 180. Yu Q., Ye W., Sun F. and Miller S., 2010.** Characterization of *Globodera rostochiensis* (Tylenchida: Heteroderidae) associated with potato in Quebec, Canada, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 32: 264-271. DOI: 10.1080/07060661003740322.
- 181. Zawislak K., Tyburski J. and Rychik B., 1989.** *Significance of crop rotation and cultivars resistant to potato cyst nematode on potato production*. Pp: 111-119. In: Vos J., Van Loon C.D. and Bollen G.J. (eds) *Effects of crop rotation on potato production in the temperate zones. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 40. Ed. Wageningen, the Netherlands. 312 p.
- 182. Zijlstra C., Lever A.E.M., Uenk B.J. and Vansilhout C.H., 1995.** Differences between ITS regions of isolates of root-knot nematodes *Meloidogyne hapla* and *M. chitwoodi*. *Phytopathology*, 85: 1231-1237.
- 183. Zouhar M., Rysanek O. and Kocova M., 2000.** Detection and differentiation of the potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* by PCR. *Plant Prot Sci.*, 36: 81-84.

Annexes

Annexe 1 :

Superficie, production et rendement de la pomme de terre en Algérie pour 2017 (MADR, 2019).

| Wilaya | Primeurs | | | Saison | | | Arrière-saison | | | Total | | |
|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) |
| 1 Adrar | 451 | 87 745 | 194,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 451 | 87 745 | 194,6 |
| 2 Chlef | 0 | 0 | 0 | 2 210 | 675 580 | 305,7 | 2 132 | 589 510 | 276,5 | 4 342 | 1 265 090 | 291,4 |
| 3 Laghouat | 0 | 0 | 0 | 2 203 | 669 250 | 303,8 | 73 | 18 250 | 250,0 | 2 276 | 687 500 | 302,1 |
| 4 O.E.Bouaghi | 0 | 0 | 0 | 158 | 54 500 | 344,9 | 125 | 18 737 | 149,9 | 283 | 73 237 | 258,8 |
| 5 Batna | 0 | 0 | 0 | 741 | 236 890 | 319,8 | 649 | 184 530 | 284,3 | 1 390 | 421 420 | 303,2 |
| 6 Bejaia | 35 | 5 770 | 164,9 | 217 | 45 210 | 208,3 | 43 | 6 800 | 158,1 | 295 | 57 780 | 195,9 |
| 7 Biskra | 0 | 0 | 0 | 100 | 20 900 | 209,0 | 120 | 26 500 | 220,8 | 220 | 47 400 | 215,5 |
| 8 Bechar | 0 | 0 | 0 | 15 | 3 160 | 210,7 | 96 | 16 780 | 175,7 | 111 | 19 940 | 180,5 |
| 9 Blida | 0 | 0 | 0 | 590 | 293 800 | 498,0 | 38 | 7 280 | 192,7 | 628 | 301 080 | 479,6 |
| 10 Bouira | 0 | 0 | 0 | 3 282 | 1 178 662 | 359,2 | 2 933 | 853 052 | 290,8 | 6 215 | 2 031 714 | 326,9 |
| 11 Tamanrasset | 4 | 599 | 149,8 | 11 | 2 090 | 190,0 | 12 | 2 000 | 166,7 | 27 | 4 689 | 173,7 |
| 12 Tebessa | 0 | 0 | 0 | 2 540 | 920 000 | 362,2 | 0 | 0 | 0 | 2 540 | 920 000 | 362,2 |
| 13 Tlemcen | 85 | 21 300 | 250,6 | 3 188 | 1 020 200 | 320,0 | 2 010 | 501 900 | 249,7 | 5 283 | 1 543 400 | 292,1 |
| 14 Tiaret | 0 | 0 | 0 | 4 064 | 1 131 312 | 278,4 | 1 300 | 338 000 | 260,0 | 5 364 | 1 469 312 | 273,9 |
| 15 Tizi-ouzou | 97 | 17 180 | 177,1 | 458 | 150 030 | 327,4 | 192 | 52 265 | 272,9 | 747 | 219 475 | 293,9 |
| 16 Alger | 252 | 77 715 | 308,4 | 772 | 341 230 | 442,0 | 45 | 13 685 | 307,5 | 1 069 | 432 630 | 404,9 |
| 17 Djelfa | 0 | 0 | 0 | 2 000 | 490 200 | 245,1 | 1 000 | 231 100 | 231,1 | 3 000 | 721 300 | 240,4 |
| 18 Jijel | 136 | 26 980 | 198,4 | 344 | 70 800 | 205,8 | 40 | 8 650 | 216,3 | 520 | 106 430 | 204,7 |
| 19 Setif | 0 | 0 | 0 | 1 899 | 525 043 | 276,5 | 65 | 16 500 | 253,8 | 1 964 | 541 543 | 275,7 |
| 20 Saida | 0 | 0 | 0 | 2 355 | 703 440 | 298,7 | 851 | 189 626 | 222,8 | 3 206 | 893 066 | 278,6 |
| 21 Skikda | 1 000 | 200 000 | 200,0 | 3 706 | 1 078 300 | 291,0 | 1 253 | 302 875 | 241,7 | 5 959 | 1 581 175 | 265,3 |
| 22 S.B.Abbes | 0 | 0 | 0 | 1 819 | 403 970 | 222,1 | 585 | 134 200 | 229,4 | 2 404 | 538 170 | 223,9 |
| 23 Annaba | 0 | 0 | 0 | 86 | 36 100 | 419,8 | 9 | 2 500 | 277,8 | 95 | 38 600 | 406,3 |
| 24 Guelma | 0 | 0 | 0 | 238 | 69 750 | 293,1 | 1 139 | 364 561 | 320,1 | 1 377 | 434 311 | 315,4 |
| 25 Constantine | 0 | 0 | 0 | 133 | 21 600 | 162,4 | 34 | 11 200 | 329,4 | 167 | 32 800 | 196,4 |
| 26 Medea | 0 | 0 | 0 | 1 298 | 382 095 | 294,4 | 891 | 168 730 | 189,4 | 2 189 | 550 825 | 251,6 |
| 27 Mostaganem | 550 | 115 500 | 210,0 | 9 964 | 3 447 444 | 346,0 | 3 775 | 908 660 | 240,7 | 14 289 | 4 471 604 | 312,9 |
| 28 M'sila | 0 | 0 | 0 | 330 | 92 400 | 280,0 | 150 | 42 000 | 280,0 | 480 | 134 400 | 280,0 |
| 29 Mascara | 0 | 0 | 0 | 6 611 | 2 043 300 | 309,1 | 5 826 | 1 509 200 | 259,0 | 12 437 | 3 552 500 | 285,6 |
| 30 Ouargla | 6 | 1 325 | 230,4 | 128 | 37 387 | 293,1 | 1 462 | 446 522 | 305,5 | 1 595 | 485 234 | 304,2 |
| 31 Oran | 1 | 280 | 280,0 | 92 | 27 153 | 295,9 | 29 | 6 985 | 240,9 | 122 | 34 418 | 282,7 |
| 32 El-Bayadh | 0 | 0 | 0 | 446 | 128 707 | 288,6 | 490 | 154 960 | 316,2 | 936 | 283 667 | 303,1 |
| 33 Illizi | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 75 | 150,0 | 1 | 75 | 150,0 |

Annexes

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------------------|--------------|---------------|-------------------|--------------|---------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|
| 34 B.B.Arreridj | 0 | 0 | 0 | 47 | 8 400 | 178,7 | 26 | 6 250 | 240,4 | 73 | 14 650 | 200,7 |
| 35 Boumerdes | 948 | 260 150 | 274,4 | 1 770 | 593 870 | 335,5 | 210 | 50 400 | 240,0 | 2 928 | 904 420 | 308,9 |
| 36 El-Tarf | 120 | 35 400 | 295,0 | 310 | 123 400 | 398,1 | 150 | 41 500 | 276,7 | 580 | 200 300 | 345,3 |
| 37 Tindouf | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 590 | 147,5 | 4 | 590 | 147,5 |
| 38 Tissemsilt | 0 | 0 | 0 | 67 | 12 330 | 184,0 | 81 | 9 740 | 120,2 | 148 | 22 070 | 149,1 |
| 39 El-Oued | 0 | 0 | 0 | 11 000 | 3 850 000 | 350,0 | 24 000 | 7 680 000 | 320,0 | 35 000 | 11 529 000 | 329,4 |
| 40 Khenchela | 0 | 0 | 0 | 64 | 10 550 | 164,8 | 29 | 5 620 | 193,8 | 93 | 16 170 | 173,9 |
| 41 Souk-Ahras | 0 | 0 | 0 | 401 | 85 650 | 213,6 | 75 | 20 250 | 270,0 | 476 | 105 900 | 222,5 |
| 42 Tipaza | 765 | 208 490 | 272,5 | 657 | 308 600 | 469,7 | 538 | 131 560 | 244,5 | 1 960 | 648 650 | 330,9 |
| 43 Mila | 0 | 0 | 0 | 1 490 | 616 440 | 413,7 | 197 | 58 770 | 298,3 | 1 687 | 675 210 | 400,2 |
| 44 Ain-Defla | 0 | 0 | 0 | 10 000 | 3 831 722 | 383,2 | 10 000 | 3 047 643 | 304,8 | 20 000 | 6 879 365 | 344,0 |
| 45 Naama | 0 | 0 | 0 | 206 | 40 342 | 195,8 | 183 | 37 863 | 206,9 | 389 | 78 205 | 201,0 |
| 46 A.Temouchent | 24 | 6 620 | 275,8 | 147 | 44 310 | 301,4 | 71 | 22 260 | 313,5 | 242 | 73 190 | 302,4 |
| 47 Ghardaia | 14 | 4 200 | 300,0 | 0 | 0 | 0 | 150 | 39 900 | 266,0 | 164 | 44 100 | 268,9 |
| 48 Relizane | 0 | 0 | 0 | 1 882 | 545 640 | 290,0 | 1 219 | 343 035 | 281,5 | 3 100 | 888 675 | 286,7 |
| Total Algérie | 4 488 | 1 069 254 | 238,3 | 80 037 | 26 371 757 | 329,5 | 64 298 | 18 623 014 | 289,6 | 148 822 | 46 063 025 | 309,5 |

Annexe 2 :

Evolution de l'importance de la pomme de terre en Algérie de 2007 à 2017 (MADR, 2019).

| Année | Primeurs | | | Saison | | | Arrière-saison | | | Total | | |
|-------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) | Superficie (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/ha) |
| 2007 | 2 462 | 451 789 | 183,5 | 41 571 | 8 039 912 | 193,4 | 35 306 | 6 576 889 | 186,3 | 79 339 | 15 068 590 | 189,9 |
| 2008 | 1 912 | 332 443 | 173,9 | 54 139 | 14 546 275 | 268,7 | 35 790 | 6 831 862 | 190,9 | 91 841 | 21 710 580 | 236,4 |
| 2009 | 3 533 | 789 415 | 223,4 | 64 354 | 17 993 231 | 279,6 | 37 234 | 7 577 924 | 203,5 | 105 121 | 26 360 570 | 250,8 |
| 2010 | 4 464 | 1 005 840 | 225,3 | 70 056 | 19 866 276 | 283,6 | 47 476 | 12 130 999 | 255,5 | 121 996 | 33 003 115 | 270,5 |
| 2011 | 4 841 | 1 126 020 | 232,6 | 72 644 | 22 543 926 | 310,3 | 54 418 | 14 951 990 | 274,8 | 131 903 | 38 621 936 | 292,8 |
| 2012 | 4 853 | 1 058 772 | 218,2 | 77 971 | 25 202 254 | 323,2 | 55 842 | 15 933 732 | 285,3 | 138 666 | 42 195 778 | 304,3 |
| 2013 | 5 042 | 1 212 973 | 240,6 | 92 017 | 29 943 674 | 325,4 | 64 097 | 17 708 733 | 276,3 | 161 156 | 48 865 380 | 303,2 |
| 2014 | 5 050 | 1 166 525 | 231,0 | 83 905 | 26 890 290 | 320,5 | 67 221 | 18 678 340 | 277,9 | 156 176 | 46 735 155 | 299,2 |
| 2015 | 4 743 | 1 090 691 | 230,0 | 84 599 | 26 874 681 | 317,7 | 63 971 | 17 430 399 | 272,5 | 153 313 | 45 395 770 | 296,1 |
| 2016 | 4 974 | 1 074 935 | 216,1 | 82 292 | 26 870 741 | 326,5 | 69 042 | 19 651 091 | 284,6 | 156 308 | 47 595 567 | 304,5 |
| 2017 | 4 488 | 1 069 254 | 238,3 | 80 037 | 26 371 757 | 329,5 | 64 298 | 18 623 014 | 289,6 | 148 822 | 46 063 025 | 309,5 |

Annexe 3 :

Liste des variétés de pomme de terre autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie en 2019 (CNCC, 2019).

| | | | | |
|--------------------|---------------|---------------|------------------|-----------------|
| 1-Accent | 40-Banba | 79-Diamant | 118-Labadia | 157-Quincy |
| 2-Adora | 41-Baraka | 80-Dido | 119-Labela | 158-Raja |
| 3-Agila | 42-Barcelona | 81-Ditta | 120-Lady olympia | 159-Red Cara |
| 4-Agria | 43-Barna | 82-Dounia | 121-Lady rosetta | 160-Red lady |
| 5-Aida | 44-Bartina | 83-Dura | 122-Latona | 161-Red Pontiac |
| 6-Ailsa | 45-Bellarosa | 84-El Djazair | 123-Laura | 162-Remarka |
| 7-Ajax | 46-Bellini | 85-El hogar | 124-Liseta | 163-Resy |
| 8-Ajiba | 47-Banba | 86-El khadra | 125-Loane | 164-Rodeo |
| 9-Akira | 48-Baraka | 87-El mundo | 126-Lola | 165-Ronaldo |
| 10-Alaska | 49-Barcelona | 88-El Oued | 127-Lusa | 166-Rosara |
| 11-Alko | 50-Barna | 89-El Sahra | 128-Mandeo | 167-Royal |
| 12-Allegro | 51-Bartina | 90-Elodie | 129-Manitou | 168-Rubis |
| 13-Almera | 52-Bellarosa | 91-Elvira | 130-Maradona | 169-Rudolph |
| 14-Amal El Djazair | 53-Bellini | 92-Escort | 131-Margarita | 170-Rumba |
| 15-Ambo | 54-Belmonda | 93-Estima | 132-Matador | 171-Sahel |
| 15-Amorosa | 55-Bernadette | 94-Everest | 133-Memphis | 172-Safrane |
| 17-Anna | 56-Blondine | 95-Evolution | 134-Milva | 173-Sagitta |
| 18-Apolline | 57-Burren | 96-Ewelina | 135-Mirakel | 174-Samanta |
| 19-Apollo | 58-Canberra | 97-Fabula | 136-Monalisa | 175-Santana |
| 20-Aranka | 59-Cantate | 98-Faluka | 137-Mondial | 176-Sarpomira |
| 21-Argos | 60-Cardinal | 99-Famosa | 138-Mozart | 177-Satina |
| 22-Ariane | 61-Carlita | 100-Florice | 139-Naga | 178-Saviola |
| 23-Arinda | 62-Carmine | 101-Folva | 140-Navan | 179-Sebain |
| 24-Arizona | 63-Caruso | 102-Frisia | 141-Nicola | 180-Secura |
| 25-Armada | 64-Cesar | 103-Granola | 142-Novita | 181-Senna |
| 26-Arnova | 65-Chieftain | 104-Hanna | 143-O'sirene | 182-Sifra |
| 27-ASSIREM | 66-Claret | 105-Hermine | 144-Obelix | 183-Simply red |
| 28-Asterix | 67-Cleopatra | 106-Idole | 145-Oceania | 184-Slaney |
| 29-Atica | 68-Challenger | 107-Ilona | 146-Oleva | 185-Spunta |
| 30-Atlas | 69-Cimega | 108-Isna | 147-Oméga | 186-Stemster |
| 31-Balanse | 70-Concurrent | 109-Jaerla | 148-Omnia | 187-Superstar |
| 32-Ballade | 71-Coralie | 110-Jelly | 149-Orchestra | 188-Sylvana |
| 33-Banba | 72-Cornado | 111-Kahina | 150-Oscar | 189-Symfonia |
| 34-Baraka | 73-Cosmos | 112-Kastelli | 151-Ostara | 190-Synergy |

| | | | | |
|--------------|-------------|---------------|---------------------|-------------|
| 35-Barcelona | 74-Daifla | 113-Kennebec | 152-Pamela | 191-Terra |
| 36-Barna | 75-Daisy | 114-Kingston | 153-Pamina | 192-Tiamo |
| 37-Bartina | 76-Delphine | 115-Kondor | 154-Pentland dell | 193-Tihert |
| 38-Bellarosa | 77-Desiree | 116-Korrigane | 155-Pentland square | 194-Timate |
| 39-Bellini | 78-Destiny | 117-Kuroda | 156-Provento | 195-Touareg |

Annexe 4 :

Informations sur les régions prospectées

| Partie de l'Algérie | Région | Localité | Parcelle | Date d'échantillonnage |
|---------------------|--------|---------------|----------|------------------------|
| Centre | Tipaza | Damous | P1 | 24/03/2014 |
| | | | P2 | 24/03/2014 |
| | | | P3 | 24/03/2014 |
| | | Gouraya | P1 | 28/03/2014 |
| | | | P2 | 28/03/2014 |
| | | | P3 | 28/03/2014 |
| | | Cherchell | P1 | 28/03/2014 |
| | | | P2 | 28/03/2014 |
| | | | P3 | 28/03/2014 |
| | | | P4 | 18/11/2017 |
| | | Hadjout | P1 | 03/04/2014 |
| | | | P2 | 03/04/2014 |
| | | | P3 | 03/04/2014 |
| | | | P4 | 18/11/2017 |
| | | Ahmar El Aïn | P1 | 03/04/2014 |
| | | | P2 | 03/04/2014 |
| | | | P3 | 03/04/2014 |
| | | Bourkika | P1 | 03/04/2014 |
| | | | P2 | 03/04/2014 |
| | | | P3 | 03/04/2014 |
| | | Sidi Rached | P1 | 10/04/2014 |
| | | | P2 | 10/04/2014 |
| | | | P3 | 10/04/2014 |
| | | Attatba | P1 | 10/04/2014 |
| | | | P2 | 10/04/2014 |
| | | | P3 | 10/04/2014 |
| | | Tipaza | P1 | 01/06/2014 |
| | | | P2 | 01/06/2014 |
| | | | P3 | 01/06/2014 |
| | | | P4 | 18/11/2017 |
| | | Aïn Tagourait | P1 | 01/06/2014 |
| | | | P2 | 01/06/2014 |
| | | | P3 | 01/06/2014 |
| | | | P4 | 18/11/2017 |
| | | Bouharoun | P1 | 08/05/2014 |
| | | | P2 | 08/05/2014 |
| | | | P3 | 08/05/2014 |
| | | | P4 | 18/11/2017 |
| | | Bou Ismaïl | P1 | 08/05/2014 |
| | | | P2 | 08/05/2014 |
| | | | P3 | 08/05/2014 |

| | | | | |
|--------------|------------|----------------------|------------|-------------|
| | | Douaouda | P1 | 08/05/2014 |
| | | | P2 | 08/05/2014 |
| | | | P3 | 08/05/2014 |
| | | | P4 | 18/11/2017 |
| | Ain Defla | Arib | P1 | 11/05/2014 |
| | | | P2 | 11/05/2014 |
| | | | P3 | 11/05/2014 |
| | | Bir Ould Khelifa | P1 | 15/05/2014 |
| | | | P2 | 15/05/2014 |
| | | | P3 | 15/05/2014 |
| | | Bordj Emir Khaled | P1 | 15/05/2014 |
| | | | P2 | 15/05/2014 |
| | | | P3 | 15/05/2014 |
| | | Bourached | P1 | 01/06/2014 |
| | | | P2 | 01/06/2014 |
| | | | P3 | 01/06/2014 |
| | | | P4 | 26/11/2017 |
| | | Ain Defla | P1 | 17/06/2014 |
| | | | P2 | 17/06/2014 |
| | | | P3 | 17/06/2014 |
| | | | P4 | 20 /11/2017 |
| | | | P5 | 25/11/2017 |
| | | El Abadia | P1 | 17/06/2014 |
| | | | P2 | 17/06/2014 |
| | | | P3 | 17/06/2014 |
| | | El Amra | P1 | 28/01/2015 |
| | | | P2 | 28/01/2015 |
| | | | P3 | 28/01/2015 |
| | | El Attaf | P1 | 28/01/2015 |
| | | | P2 | 28/01/2015 |
| | | | P3 | 28/01/2015 |
| | | | P4 | 25/11/2017 |
| | | Mekhatria | P1 | 02/02/2015 |
| | | | P2 | 02/02/2015 |
| | | | P3 | 02/02/2015 |
| | | Rouina | P1 | 02/02/2015 |
| P2 | 02/02/2015 | | | |
| P3 | 02/02/2015 | | | |
| P4 | 25/11/2017 | | | |
| P5 | 02/03/2018 | | | |
| Sidi Lakhdar | P1 | 14/06/2015 | | |
| | P2 | 14/06/2015 | | |
| | P3 | 14/06/2015 | | |
| Djendel | P1 | 18/06/2015 | | |
| | P2 | 18/06/2015 | | |
| | P3 | 18/06/2015 | | |
| Bliida | Meftah | P1 | 04/06/2014 | |
| | | P2 | 04/06/2014 | |

| | | | | |
|-----------|-------------------|------------|------------|------------|
| | | | P3 | 04/06/2014 |
| | | | P4 | 04/06/2014 |
| | | | P5 | 04/06/2014 |
| | | | P6 | 15/02/2018 |
| | | Boufarik | P1 | 25/03/2015 |
| | | | P2 | 25/03/2015 |
| | | | P3 | 25/03/2015 |
| | | Larbaa | P1 | 25/03/2015 |
| | | | P2 | 25/03/2015 |
| | | | P3 | 25/03/2015 |
| | | | P4 | 15/02/2018 |
| | | | P5 | 15/02/2018 |
| | | El Affroun | P1 | 03/06/2016 |
| | | | P2 | 29/05/2016 |
| | | | P3 | 29/05/2016 |
| | | Bougara | P1 | 29/05/2016 |
| | | | P2 | 03/06/2016 |
| | | | P3 | 03/06/2016 |
| | Alger | Staoueli | P1 | 07/06/2014 |
| | | | P2 | 07/06/2014 |
| | | | P3 | 07/06/2014 |
| | | | P4 | 08/03/2018 |
| | | Zeralda | P1 | 07/06/2014 |
| | | | P2 | 07/06/2014 |
| | | | P3 | 15/08/2016 |
| | | | P4 | 08/03/2018 |
| | | | P5 | 08/03/2018 |
| | | Baraki | P1 | 28/03/2015 |
| | | | P2 | 28/03/2015 |
| | | | P3 | 28/03/2015 |
| | | Aïn Taya | P1 | 12/03/2016 |
| | | | P2 | 12/03/2016 |
| | | | P3 | 12/03/2016 |
| | | Reghaïa | P1 | 17/03/2016 |
| | | | P2 | 17/03/2016 |
| | | | P3 | 17/03/2016 |
| Boumerdes | Khemis El-Khechna | P1 | 01/07/2015 | |
| | | P2 | 01/07/2015 | |
| | | P3 | 01/07/2015 | |
| | Larbatache | P1 | 01/07/2015 | |
| | | P2 | 01/07/2015 | |
| | | P3 | 01/07/2015 | |
| | Leghata | P1 | 01/07/2015 | |
| | | P2 | 01/07/2015 | |
| | | P3 | 01/07/2015 | |
| | Chabet El Aneur | P1 | 02/07/2015 | |
| | | P2 | 02/07/2015 | |
| | | P3 | 02/07/2015 | |

| | | | | | |
|---------------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|
| | | Ouled Moussa | P1 | 02/07/2015 | |
| | | | P2 | 02/07/2015 | |
| | | | P3 | 02/07/2015 | |
| | | Hammedi | P1 | 02/07/2015 | |
| | | | P2 | 02/07/2015 | |
| | | | P3 | 02/07/2015 | |
| | | Bouira | Aïn Bessem | P1 | 06/07/2015 |
| | | | | P2 | 06/07/2015 |
| | | | | P3 | 06/07/2015 |
| | El Asnam | | P1 | 06/07/2015 | |
| | | | P2 | 06/07/2015 | |
| | | | P3 | 06/07/2015 | |
| | Bechloul | | P1 | 06/07/2015 | |
| | | | P2 | 06/07/2015 | |
| | | | P1 | 06/07/2015 | |
| | Bouira | | P1 | 07/07/2015 | |
| | | | P2 | 07/07/2015 | |
| | | | P3 | 07/07/2015 | |
| | Bir Ghalou | | P1 | 07/07/2015 | |
| | | | P2 | 07/07/2015 | |
| | | | P3 | 07/07/2015 | |
| | Lakhdaria | | P1 | 07/07/2015 | |
| | | | P2 | 07/07/2015 | |
| | | | P3 | 07/07/2015 | |
| | Ouest | Chlef | Oued Fodda | P1 | 13/06/2016 |
| | | | | P2 | 13/06/2016 |
| | | | | P3 | 13/06/2016 |
| Oum Drou | | | P1 | 13/06/2016 | |
| | | | P2 | 13/06/2016 | |
| | | | P3 | 13/06/2016 | |
| Labioud Medjadja | | | P1 | 13/06/2016 | |
| | | | P2 | 13/06/2016 | |
| | | | P3 | 13/06/2016 | |
| Ouled Abbas | | | P1 | 18/06/2016 | |
| | | | P2 | 18/06/2016 | |
| | | | P3 | 18/06/2016 | |
| El Karimia | | | P1 | 18/06/2016 | |
| | | | P2 | 18/06/2016 | |
| | | | P3 | 18/06/2016 | |
| Ouled Fares | | | P1 | 09/06/2017 | |
| | | | P2 | 09/06/2017 | |
| | | | P3 | 15/03/2018 | |
| Chlef | | | P1 | 09/06/2017 | |
| | | | P2 | 09/06/2017 | |
| | | | P3 | 15/03/2018 | |
| Chettia | | | P1 | 21/03/2018 | |
| | | | P2 | 21/03/2018 | |
| | | | P3 | 21/03/2018 | |

| | | | | | |
|-----------------|-------------------|----------|------------|------------|------------|
| | | Boukadir | P1 | 15/03/2018 | |
| | | | P2 | 20/03/2018 | |
| | | | P3 | 20/03/2018 | |
| Relizane | El Hamadna | | P1 | 09/06/2017 | |
| | | | P2 | 09/06/2017 | |
| | | | P3 | 09/06/2017 | |
| | | | P4 | 09/06/2017 | |
| | | | P5 | 09/06/2017 | |
| | Oued El Djemaa | | P1 | 13/06/2017 | |
| | | | P2 | 13/06/2017 | |
| | | | P3 | 13/06/2017 | |
| | | | P4 | 13/06/2017 | |
| | Belassel Bouzegza | | P1 | 13/06/2017 | |
| | | | P2 | 13/06/2017 | |
| | | | P3 | 13/06/2017 | |
| | Mostaganem | Sirat | | P1 | 27/04/2017 |
| | | | | P2 | 27/04/2017 |
| | | | | P3 | 27/04/2017 |
| P4 | | | | 27/04/2017 | |
| Bouguirat | | | P1 | 27/04/2017 | |
| | | | P2 | 27/04/2017 | |
| | | | P3 | 27/04/2017 | |
| Hassi Mameche | | | P1 | 27/04/2017 | |
| | | | P2 | 27/04/2017 | |
| | | | P3 | 27/04/2017 | |
| | | | P4 | 27/04/2017 | |
| | | | P5 | 27/04/2017 | |
| Mesra | | | P1 | 06/05/2017 | |
| | | | P2 | 06/05/2017 | |
| | | | P3 | 06/05/2017 | |
| | | | P4 | 06/05/2017 | |
| | | | P5 | 06/05/2017 | |
| Aïn Nouissy | | | P1 | 06/05/2017 | |
| | | | P2 | 06/05/2017 | |
| | | | P3 | 06/05/2017 | |
| Fornaka | | | P1 | 06/05/2017 | |
| | | | P2 | 06/05/2017 | |
| | | | P3 | 06/05/2017 | |
| Aïn Sidi Cherif | | | P1 | 21/05/2017 | |
| | | | P2 | 21/05/2017 | |
| | | | P3 | 21/05/2017 | |
| Sayada | | | P1 | 21/05/2017 | |
| | | | P2 | 21/05/2017 | |
| | | | P3 | 21/05/2017 | |
| Kheireddi-ne | | | P1 | 21/05/2017 | |
| | P2 | | 21/05/2017 | | |
| | P3 | | 21/05/2017 | | |
| Mascara | Ghriss | | P1 | 16/06/2017 | |

| | | | | | |
|------------|---------|------------|------------|------------|------------|
| | | | P2 | 16/06/2017 | |
| | | | P3 | 16/06/2017 | |
| | | | P4 | 16/06/2017 | |
| | | | P5 | 16/06/2017 | |
| | | Froha | P1 | 16/06/2017 | |
| | | | P2 | 16/06/2017 | |
| | | | P3 | 16/06/2017 | |
| | | Oued Taria | P1 | 16/06/2017 | |
| | | | P2 | 16/06/2017 | |
| | | | P3 | 16/06/2017 | |
| | | Matemore | P1 | 16/06/2017 | |
| | | | P2 | 16/06/2017 | |
| | | | P3 | 16/06/2017 | |
| | | Tlemcen | El Fehoul | P1 | 24/06/2018 |
| | | | | P2 | 24/06/2018 |
| | P3 | | | 24/06/2018 | |
| | Maghnia | | P1 | 24/06/2018 | |
| | | | P2 | 24/06/2018 | |
| | | | P3 | 24/06/2018 | |
| | Hennaya | | P1 | 24/06/2018 | |
| | | | P2 | 24/06/2018 | |
| | | | P3 | 24/06/2018 | |
| | Zenata | | P1 | 25/06/2018 | |
| | | | P2 | 25/06/2018 | |
| | | | P3 | 25/06/2018 | |
| | Tlemcen | | P1 | 25/06/2018 | |
| | | | P2 | 25/06/2018 | |
| | | | P3 | 25/06/2018 | |
| | Tiaret | Dahmouni | P1 | 14/06/2017 | |
| | | | P2 | 14/06/2017 | |
| | | | P3 | 14/06/2017 | |
| | | | P4 | 14/06/2017 | |
| | | | P5 | 14/06/2017 | |
| | | | P6 | 14/06/2017 | |
| | | Sebaine | P1 | 14/06/2017 | |
| | | | P2 | 14/06/2017 | |
| P3 | | | 14/06/2017 | | |
| P4 | | | 14/06/2017 | | |
| P5 | | | 14/06/2017 | | |
| P6 | | | 14/06/2017 | | |
| Tagdemt | | P1 | 15/06/2017 | | |
| | | P2 | 15/06/2017 | | |
| | | P3 | 15/06/2017 | | |
| | P4 | 15/06/2017 | | | |
| Oued Lilli | P1 | 15/06/2017 | | | |
| | P2 | 15/06/2017 | | | |
| | P3 | 15/06/2017 | | | |
| | P4 | 15/06/2017 | | | |

| | | | | | |
|---------------|-----------------------|-------------------|--------------|------------|------------|
| Est | Mila | Teleghma | P1 | 03/02/2018 | |
| | | | P2 | 03/02/2018 | |
| | | | P3 | 03/02/2018 | |
| | | Oued Athmania | P1 | 03/02/2018 | |
| | | | P2 | 03/02/2018 | |
| | | | P3 | 03/02/2018 | |
| | | Chelghoum Laid | P1 | 03/02/2018 | |
| | | | P2 | 03/02/2018 | |
| | | | P1 | 03/02/2018 | |
| | | Ouled Khalouf | P1 | 10/03/2018 | |
| | | | P2 | 10/03/2018 | |
| | | | P3 | 10/03/2018 | |
| | | Tadjenanet | P1 | 10/03/2018 | |
| | | | P2 | 10/03/2018 | |
| | | | P3 | 10/03/2018 | |
| | | Guelma | Guelma | P1 | 19/02/2018 |
| | | | | P2 | 19/02/2018 |
| | | | | P3 | 19/02/2018 |
| | Boumahra Ahmed | | P1 | 19/02/2018 | |
| | | | P2 | 19/02/2018 | |
| | | | P3 | 19/02/2018 | |
| | Belkheir | | P1 | 19/02/2018 | |
| | | | P2 | 19/02/2018 | |
| | | | P3 | 19/02/2018 | |
| | Bouchego-uf | | P1 | 23/03/2018 | |
| | | | P2 | 23/03/2018 | |
| | | | P3 | 23/03/2018 | |
| | Beni Mezline | | P1 | 23/03/2018 | |
| | | | P2 | 23/03/2018 | |
| | | | P3 | 23/03/2018 | |
| | El Fedjoudj | | P1 | 23/03/2018 | |
| | | | P2 | 23/03/2018 | |
| | | | P3 | 23/03/2018 | |
| | Djeballah Khemissi | | P1 | 23/03/2018 | |
| | | | P2 | 23/03/2018 | |
| | | | P3 | 23/03/2018 | |
| | Souk Ahras | | Tiffech | P1 | 28/02/2018 |
| | | | | P2 | 28/02/2018 |
| | | | | P3 | 28/02/2018 |
| | | | M'daourou-ch | P1 | 28/02/2018 |
| | | | | P2 | 28/02/2018 |
| | | | | P3 | 28/02/2018 |
| | | Ouillen | P1 | 28/02/2018 | |
| | | | P2 | 28/02/2018 | |
| | | | P3 | 28/02/2018 | |
| Oum El Adhaim | | P1 | 30/03/2018 | | |
| | | P2 | 30/03/2018 | | |
| | | P3 | 30/03/2018 | | |

| | | | | |
|--------|-----------------|----------------|-------------|------------|
| | | Sedrata | P1 | 30/03/2018 |
| | | | P2 | 30/03/2018 |
| | | | P3 | 30/03/2018 |
| | | Zouabi | P1 | 30/03/2018 |
| | | | P2 | 30/03/2018 |
| | | | P3 | 30/03/2018 |
| | | Bir Bou Haouch | P1 | 30/03/2018 |
| | | | P2 | 30/03/2018 |
| | | | P3 | 30/03/2018 |
| | Tébessa | El Ma Labiodh | P1 | 14/03/2018 |
| | | | P2 | 14/03/2018 |
| | | | P3 | 14/03/2018 |
| | | El Houdjbet | P1 | 14/03/2018 |
| | | | P2 | 14/03/2018 |
| | | | P3 | 14/03/2018 |
| | | | P4 | 14/03/2018 |
| | | | P5 | 14/03/2018 |
| | | Cheria | P1 | 14/03/2018 |
| | | | P2 | 14/03/2018 |
| | | | P3 | 14/03/2018 |
| | | Sétif | Ain Lahdjar | P1 |
| | P2 | | | 30/06/2018 |
| | P3 | | | 30/06/2018 |
| | Guellal | | P1 | 30/06/2018 |
| | | | P2 | 30/06/2018 |
| | | | P3 | 30/06/2018 |
| | | | P4 | 30/06/2018 |
| | Bougaa | | P1 | 30/06/2018 |
| | | | P2 | 30/06/2018 |
| | | | P3 | 30/06/2018 |
| P4 | | | 30/06/2018 | |
| Skikda | El Harrouch | | P1 | 16/06/2018 |
| | | P2 | 16/06/2018 | |
| | | P3 | 16/06/2018 | |
| | | P4 | 16/06/2018 | |
| | | P5 | 16/06/2018 | |
| | | P6 | 16/06/2018 | |
| | Salah Bouchaour | P1 | 16/06/2018 | |
| | | P2 | 16/06/2018 | |
| | | P3 | 16/06/2018 | |
| | | P4 | 16/06/2018 | |
| | Ramdane-Djamel | P1 | 17/06/2018 | |
| | | P2 | 17/06/2018 | |
| | | P3 | 17/06/2018 | |
| | | P4 | 17/06/2018 | |
| | | P5 | 17/06/2018 | |
| | Tamalous | P1 | 17/06/2018 | |
| | | | | |

| | | | | | | |
|------------|----------|--------------|---------------|------------|------------|------------|
| | | | P2 | 17/06/2018 | | |
| | | | P3 | 17/06/2018 | | |
| | | | P4 | 17/06/2018 | | |
| Sud | Djelfa | Aïn El Ibel | P1 | 26/07/2015 | | |
| | | | P2 | 26/07/2015 | | |
| | | | P3 | 26/07/2015 | | |
| | | Guernini | P1 | 06/07/2016 | | |
| | | | P2 | 06/07/2016 | | |
| | | | P3 | 06/07/2016 | | |
| | | Hassi Bahbah | P1 | 02/07/2017 | | |
| | | | P2 | 02/07/2017 | | |
| | | | P3 | 02/07/2017 | | |
| | | Birine | P1 | 12/07/2017 | | |
| | | | P2 | 12/07/2017 | | |
| | | | P3 | 12/07/2017 | | |
| | | El Ghrous | P1 | P1 | 05/04/2015 | |
| | | | | P2 | 05/04/2015 | |
| | | | | P3 | 05/04/2015 | |
| | | | Lioua | P1 | P1 | 10/04/2015 |
| | | | | | P2 | 10/04/2015 |
| | | | | | P3 | 10/04/2015 |
| | | | Tolga | P1 | P1 | 25/04/2015 |
| | | | | | P2 | 25/04/2015 |
| | | | | | P3 | 25/04/2015 |
| | | Mekhadma | P1 | P1 | 03/05/2015 | |
| | | | | P2 | 03/05/2015 | |
| | | | | P3 | 03/05/2015 | |
| | | Sidi Okba | P1 | P1 | 15/05/2015 | |
| | | | | P2 | 15/05/2015 | |
| | | | | P3 | 15/05/2015 | |
| | | El Oued | Hassi Khalifa | P1 | P1 | 29/08/2016 |
| | | | | | P2 | 29/08/2016 |
| | | | | | P3 | 19/11/2016 |
| | P4 | | | | 19/11/2016 | |
| | Trifaoui | | P1 | P1 | 29/08/2016 | |
| | | | | P2 | 29/08/2016 | |
| P3 | | | | 19/11/2016 | | |
| Ourmas | P1 | | P1 | 19/11/2016 | | |
| | | | P2 | 19/11/2016 | | |
| | | | P3 | 19/11/2016 | | |
| Reguiba | P1 | | P1 | 19/11/2016 | | |
| | | | P2 | 19/11/2016 | | |
| | | | P3 | 19/11/2016 | | |

Annexe 5 :

Fiche de renseignements de la parcelle échantillonnée

Date de prélèvement :

Région :

Localité :

Code de la parcelle :

Nom de l'agriculteur :

Type de culture (culture de primeur, saison et arrière-saison) :

La variété de la pomme de terre utilisée :

L'origine de la semence :

Les précédents culturaux :

Première année :

Deuxième année :

Troisième année :

Quatrième année :

Le mode d'irrigation :

Texture du sol:

Les traitements utilisés :

Insecticide :

Fongicide :

Nématicide :



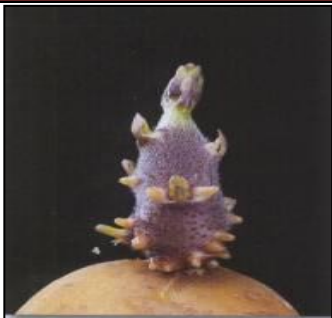
Herbicide :




Les maladies affectant la pomme de terre :




Annexe 6 :



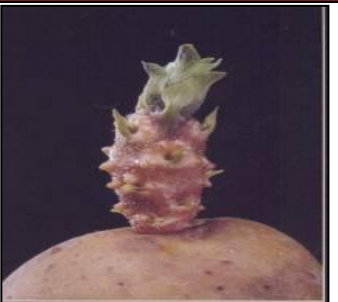
Fiches descriptives des variétés de pomme de terre utilisées pour évaluer la multiplication des nématodes à kystes de la pomme de terre (CNCC, 2019).


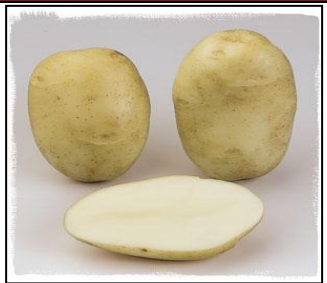

| Variétés | Origine génétique, obtenteur et année d'inscription au Catalogue algérien | Caractères descriptifs | | | Caractères agronomiques | |
|----------|---|---|---|--|--|--|
| | | Végétation | Tubercule | Germe | Productivité | Résistance aux maladies |
| Spunta | <p>-Origine génétique : BEA X USDA X 96-56</p> <p>-Obtenteur : J. Oldenburer (Pays Bas)</p> <p>-Année d'inscription : 1988</p> | <p>-Type de Port : Demi dressé</p> <p>-Hauteur : Haute</p> <p>-Extension de la pigmentation anthocyanique de la tige : Très faible à Faible</p> <p>-Taille de la feuille : Moyenne</p> <p>-Intensité de la couleur verte de la feuille : Moyenne à foncée</p> <p>-Silhouette des feuilles: Moyenne à ouverte</p> <p>-Taille des folioles: Moyenne</p> <p>-Largeur des folioles : Moyenne à large</p> <p>-Ondulation du bord de la feuille : Très faible à faible</p> <p>-Taille de l'inflorescence : Petite</p> <p>-Fréquence des fleurs : Grande</p> <p>-Taille de la corolle : Petite</p> <p>-Couleur de la face intérieure de la fleur : Blanche</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la face intérieure de la fleur colorée : *</p> <p>-Pigmentation anthocyanique de la face extérieure de la fleur blanche:*</p> <p>-Fréquence des fruits : Nulle ou très faible</p> | <p>-Forme : Oblongue allongée</p> <p>-Couleur de la peau : Jaune</p> <p>-Couleur de la chair : Jaune</p> <p>-Profondeur des yeux : Peu profonde</p> | <p>-Taille : Moyen</p> <p>-Forme : Conique</p> <p>-Couleur de la base : Violet bleu</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la base : Assez forte</p> <p>-Pilosité de la base : Faible</p> <p>-Taille du sommet : Moyenne à grande</p> <p>-Aspect du sommet : Moyen</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique du sommet : Faible</p> <p>-Pilosité du sommet : Moyenne</p> <p>-Nombre de radicelles : Grand</p> <p>-Nombre de radicelles : Grand</p> <p>-Protubérance des lenticelles : Faible</p> <p>-Longueur des ramifications latérales: Longue</p> | <p>-Précocité : Demi précoce</p> <p>-Calibre : Moyen à gros</p> <p>-Rendement : *</p> <p>-Qualité culinaire : *</p> <p>-Aptitude à la conservation: *</p> <p>-Teneur en matière sèche : Faible</p> | <p>-Mildiou du feuillage: Assez sensible</p> <p>-Mildiou du tubercule : Assez sensible</p> <p>-Galle commune : *</p> <p>-Galle verruqueuse : *</p> <p>-PVY : Peu sensible</p> <p>-PVX: Moyennement sensible</p> <p>-PVA : Moyennement sensible</p> <p>-PLRV: Peu sensible</p> <p>-Alternaria: Peu sensible</p> <p>-Nématodes : *</p> <p>-Egérmage : *</p> <p>-Autres : *</p> |

| | | | | | | |
|---------|---|---|--|--|--|---|
| | |  |  |  | | |
| Désirée | <p>-Origine génétique : URGENTA X DEPESCHE</p> <p>-Obtenteur : Bv de ZPC (Pays Bas)</p> <p>-Année d'inscription : 1988</p> | <p>-Type de Port : Dressé</p> <p>-Hauteur : Haute</p> <p>-Extension de la pigmentation anthocyanique de la tige : Faible</p> <p>-Taille de la feuille : Moyenne</p> <p>-Intensité de la couleur verte de la feuille : Moyenne à foncée</p> <p>-Silhouette des feuilles : Moyenne à ouverte</p> <p>-Taille des folioles : Moyenne</p> <p>-Largeur des folioles : Moyenne</p> <p>-Ondulation du bord de la feuille : Nulle ou très faible</p> <p>-Taille de l'inflorescence : Moyenne à grande</p> <p>-Fréquence des fleurs : Elevée</p> <p>-Taille de la corolle : Moyenne à grande</p> <p>-Couleur de la face intérieure de la fleur : Violet - rouge</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la face intérieure de la fleur colorée : Faible à moyenne</p> <p>-Pigmentation anthocyanique de la face extérieure de la fleur blanche : *</p> <p>-Fréquence des fruits : Moyenne</p> | <p>-Forme : Oblongue</p> <p>-Couleur de la peau : Rouge</p> <p>-Couleur de la chair : Jaune</p> <p>-Profondeur des yeux : Assez profonde</p> | <p>-Taille : Petit à moyen</p> <p>-Forme : Cylindrique</p> <p>-Couleur de la base : Violet rouge</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la base : Moyenne à forte</p> <p>-Pilosité de la base : Forte</p> <p>-Taille du sommet : Moyenne à petite</p> <p>-Aspect du sommet : Fermé</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique du sommet : Faible</p> <p>-Pilosité du sommet : Faible</p> <p>-Nombre de radicelles : Petit</p> <p>-Protubérance des lenticelles : Faible à moyenne</p> <p>-Longueur des ramifications latérales : Courte</p> | <p>-Précocité : Moyenne à tardive</p> <p>-Calibre : Moyen à gros</p> <p>-Rendement : *</p> <p>-Qualité culinaire : *</p> <p>-Aptitude à la conservation : *</p> <p>-Teneur en matière sèche : Faible</p> | <p>-Mildiou du feuillage : Moyennement sensible</p> <p>-Mildiou du tubercule : Moyennement sensible</p> <p>-Gale commune : *</p> <p>-Galle verruqueuse : *</p> <p>-PVY : Peu sensible</p> <p>-PVX : Peu sensible</p> <p>-PVA : Peu sensible</p> <p>-PLRV : Peu sensible</p> <p>-Alternaria : Peu sensible</p> <p>-Nématodes : *</p> <p>-Egérmage : *</p> <p>-Autres : *</p> |


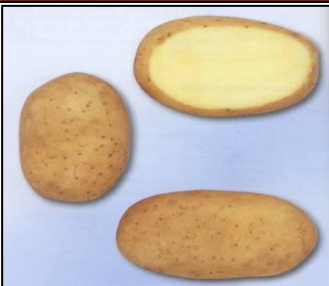

| | | | | | | |
|--------|--|---|---|---|--|--|
| | |  |  |  | | |
| Kondor | <p>-Origine génétique : KO 61-333 X WILJA</p> <p>-Obtenteur : J.P.G.KONST (Pays Bas)</p> <p>-Année d'inscription : 1988</p> | <p>-Type de Port : Demi dressé</p> <p>-Hauteur : Moyenne</p> <p>-Extension de la pigmentation anthocyanique de la tige : Faible</p> <p>-Taille de la feuille : Moyenne</p> <p>-Intensité de la couleur verte de la feuille : Moyenne à foncée</p> <p>-Silhouette des feuilles : Moyenne à ouverte</p> <p>-Taille des folioles : Moyenne</p> <p>-Largeur des folioles : Moyenne</p> <p>-Ondulation du bord de la feuille : Nulle ou très faible</p> <p>-Taille de l'inflorescence : Petite à moyenne</p> <p>-Fréquence des fleurs : Moyenne</p> <p>-Taille de la corolle : Moyenne à grande</p> <p>-Couleur de la face intérieure de la fleur : Violet Rouge</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la face intérieure de la fleur colorée : Moyenne</p> <p>-Pigmentation anthocyanique de la face extérieure de la fleur blanche : *</p> <p>-Fréquence des fruits : Faible</p> | <p>-Forme : Oblongue</p> <p>-Couleur de la peau : Rouge</p> <p>-Couleur de la chair : Jaune pâle</p> <p>-Profondeur des yeux : Peu profonde</p> | <p>-Taille : Grande</p> <p>-Forme : Conique</p> <p>-Couleur de la base : Violet Rouge</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la base : Très forte</p> <p>-Pilosité de la base : *</p> <p>-Taille du sommet : Petite à moyenne</p> <p>-Aspect du sommet : Fermé</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique du sommet : Moyenne</p> <p>-Pilosité du sommet : Faible à moyenne</p> <p>-Nombre de radicelles : Petit</p> <p>-Protubérance des lenticelles : Moyenne</p> <p>-Longueur des ramifications latérale : Courte</p> | <p>-Précocité : Moyenne</p> <p>-Calibre : Gros</p> <p>-Rendement : *</p> <p>-Qualité culinaire : *</p> <p>-Aptitude à la conservation : *</p> <p>-Teneur en matière sèche : Faible</p> | <p>-Mildiou du feuillage : Sensible</p> <p>-Mildiou du tubercule : *</p> <p>-Gale commune : *</p> <p>-Galle verruqueuse : *</p> <p>-PVY : Assez sensible</p> <p>-PVX : Peu sensible</p> <p>-PVA : Peu sensible</p> <p>-PLRV : Peu sensible</p> <p>-Alternaria : Peu sensible</p> <p>-Nématodes : *</p> <p>-Egérmage : *</p> <p>-Autres : *</p> |

| | | | | | | |
|---------|--|--|---|---|---|--|
| | |  |  |  | | |
| Diamant | <p>-Origine génétique : T de Vries 54-30-8 X SVP 55 - 89</p> <p>-Obtenteur : F.Brands (Pays Bas)</p> <p>-Année d'inscription : 1988</p> | <p>-Type de Port : Demi -dressé</p> <p>-Hauteur : Moyenne à haute</p> <p>-Extension de la pigmentation anthocyanique de la tige : Nulle ou très faible</p> <p>-Taille de la feuille : Moyenne</p> <p>-Intensité de la couleur verte de la feuille : Foncée</p> <p>-Silhouette des feuilles : Moyenne à ouverte</p> <p>-Taille des folioles : Moyenne à grande</p> <p>-Largeur des folioles : Moyenne</p> <p>-Ondulation du bord de la feuille : Faible à moyenne</p> <p>-Taille de l'inflorescence : Moyenne</p> <p>-Fréquence des fleurs : Faible à moyenne</p> <p>-Taille de la corolle : Moyenne</p> <p>-Couleur de la face intérieure de la fleur : Violet Rouge</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la face intérieure de la fleur colorée : Moyenne à forte</p> <p>-Pigmentation anthocyanique de la face extérieure de la fleur blanche : *</p> <p>-Fréquence des fruits : Nulle ou très faible</p> | <p>-Forme : Oblongue</p> <p>-Couleur de la peau : Jaune</p> <p>-Couleur de la chair : Jaune pâle</p> <p>-Profondeur des yeux : Assez profonde</p> | <p>-Taille : Moyen à grand</p> <p>-Forme : Conique</p> <p>-Couleur de la base : Violet Rouge</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la base : Faible</p> <p>-Pilosité de la base : Très faible</p> <p>-Taille du sommet : Moyenne à grande</p> <p>-Aspect du sommet : Moyen à ouvert</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique du sommet : Très faible</p> <p>-Pilosité du sommet : Très faible</p> <p>-Nombre de radicelle : Moyen à petit</p> <p>-Protubérance des lenticelles : Moyenne à faible</p> <p>-Longueur des ramifications latérales : Courte</p> | <p>-Précocité : Demi tardive</p> <p>-Calibre : Moyen à gros</p> <p>-Rendement : *</p> <p>-Qualité culinaire : *</p> <p>-Aptitude à la conservation : *</p> <p>-Teneur en matière sèche : Faible à moyenne</p> | <p>Mildiou du feuillage : Moyennement sensible</p> <p>Mildiou du tubercule : *</p> <p>-Galle commune : *</p> <p>-Galle verruqueuse : *</p> <p>-PVY : Peu sensible</p> <p>-PVX : Peu sensible</p> <p>-PVA : Peu sensible</p> <p>-PLRV : Peu sensible</p> <p>-Alternaria : Peu sensible</p> <p>-Nématodes : *</p> <p>-Egérmage : *</p> <p>-Autre : Repousses</p> |

| | | | | | | |
|--------|--|--|---|--|--|---|
| | |  |  |  | | |
| Daifla | <p>-Origine génétique : SYLVIA X CARA</p> <p>-Obtenteur : GERMICOPA (France)</p> <p>-Année d'inscription : 2007</p> | <p>-Type de Port : Dressé à demi dressé</p> <p>-Hauteur : Moyenne</p> <p>-Extension de la pigmentation anthocyanique de la tige : Nulle ou très faible</p> <p>-Taille de la feuille : Moyenne</p> <p>-Intensité de la couleur verte de la feuille : Claire à moyenne</p> <p>-Silhouette des feuilles : Moyenne à ouverte</p> <p>-Taille des folioles : Moyenne</p> <p>-Largeur des folioles : Moyenne</p> <p>-Ondulation du bord de la feuille : Nulle ou très faible</p> <p>-Taille de l'inflorescence : Petite</p> <p>-Fréquence des fleurs : Moyenne à élevée</p> <p>-Taille de la corolle : Moyenne à grande</p> <p>-Couleur de la face intérieure de la fleur : Blanche</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la face intérieure de la fleur colorée : *</p> <p>-Pigmentation anthocyanique de la face extérieure de la fleur blanche : Absente</p> <p>-Fréquence des fruits : Moyenne à élevée</p> | <p>-Forme : Oblongue</p> <p>-Couleur de la peau : Jaune</p> <p>-Couleur de la chair : Blanc jaunâtre</p> <p>-Profondeur des yeux : Peu profonde</p> | <p>-Taille : Moyenne</p> <p>-Forme : Conique</p> <p>-Couleur de la base : Violet bleu</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique de la base : Très forte</p> <p>-Pilosité de la base : Faible à moyenne</p> <p>-Taille du sommet : Petite</p> <p>-Aspect du sommet : Moyenne</p> <p>-Intensité de la pigmentation anthocyanique du sommet : Forte</p> <p>-Pilosité du sommet : Faible à moyenne</p> <p>-Nombre de radicelles : Petit à moyen</p> <p>-Protubérance des lenticelles : Forte</p> <p>-Longueur des ramifications latérales : Moyenne</p> | <p>-Précocité : *</p> <p>-Calibre : Moyen à gros</p> <p>-Rendement : *</p> <p>-Qualité culinaire : *</p> <p>-Aptitude à la conservation : *</p> <p>-Teneur en matière sèche : Faible</p> | <p>-Mildiou du feuillage : Très sensible</p> <p>-Mildiou du tubercule : *</p> <p>-Gale commune : *</p> <p>-Galle verruqueuse : *</p> <p>-PVY : Peu sensible</p> <p>-PVX : Assez sensible</p> <p>-PVA : Assez sensible</p> <p>-PLRV : Peu sensible</p> <p>-Alternaria : Peu sensible</p> <p>-Nématodes : *</p> <p>-Egérmage : *</p> <p>-Autres : *</p> |

| | | | | | | |
|---------------|---|---|---|--|--|---|
| | |  |  |  | | |
| <p>Arnova</p> | <p>-Origine génétique : Obelix X AR 76-168-1 -Obtenteur : Agrico Research (Pays Bas) -Année d'inscription : 2002</p> | <p>-Type de Port : Demi dressé -Hauteur : Haute -Extension de la pigmentation anthocyanique de la tige : * -Taille de la feuille : Moyenne -Intensité de la couleur verte de la feuille : Moyenne -Silhouette des feuilles : Moyenne à ouverte -Taille des folioles : Moyenne -Largeur des folioles : Moyenne -Ondulation du bord de la feuille : nulle ou très faible -Taille de l'inflorescence : Petite -Fréquence des fleurs : Nulle ou très faible -Taille de la corolle : Petite à moyenne -Couleur de la face intérieure de la fleur : Blanche -Intensité de la pigmentation anthocyanique de la face intérieure de la de la fleur colorée : * -Pigmentation anthocyanique de la face extérieure de la fleur blanche : * -Fréquence des fruits : Nulle ou très faible</p> | <p>-Forme : Oblongue allongée -Couleur de la peau : Jaune -Couleur de la chair : Jaune pâle -Profondeur des yeux : Très peu profonde</p> | <p>-Taille : Moyenne à grande -Forme : Conique -Couleur de la base : Rouge violet -Intensité de la pigmentation anthocyanique de la base : Faible -Pilosité de la base : Moyenne à forte -Taille du sommet : Très petite à petite -Aspect du sommet : Fermé -Intensité de la pigmentation anthocyanique du sommet : Très faible à faible -Pilosité du sommet : Moyenne -Nombre des radicelles : Moyen à grand -Protubérances des lenticelles : Faible -Longueur des ramifications latérales : Moyenne</p> | <p>-Précocité : Demi précoce à précoce -Calibre : Gros -Rendement : * -Qualité culinaire : * -Teneur en matière sèche : Très faible</p> | <p>-Mildiou du feuillage : Sensible -Mildiou du tubercule : * -Galle commune : * -Galle verruqueuse : * -PVY : Assez tolérance -PVX : Assez tolérance -PVA : * -PLRV : Assez tolérance -Jambe noire : * -Alternaria : Assez tolérance -Nématodes : * -Egérmage : * -Autres : Sensible au bouillage</p> |

Annexes

| | | | | | | |
|--|--|---|--|---|--|--|
| | |  |  |  | | |
|--|--|---|--|---|--|--|

Résumés

Etude de la bioécologie des nématodes à kystes du genre *Globodera* inféodés à la culture de la pomme de terre

Résumé

L'investigation a été conduite dans diverses régions algériennes entre 2014 et 2018 sur la présence et la distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera*. Au total, 420 échantillons de sol ont été collectés dans 21 régions productrices de pommes de terre. Les nématodes sont présents dans 20 régions et dans 148 échantillons de sol (35,23%). Les fréquences des infestations calculées sont variables d'une zone à l'autre. Les fréquences les plus élevées ont été enregistrées dans les régions de Mostaganem (75%) et El Oued (61,53%) et les plus faibles ont été notées dans les régions de Tiaret et de Skikda avec 5%. Les niveaux d'infestation varient d'une parcelle à une autre, allant de 0 à 270 kystes/kg de sol qui correspond à un intervalle de 0 à 85,39 œufs et larves/g de sol. A partir des échantillons infestés, 81,75% présentent une densité de population inférieure à 10 œufs et larves / g de sol.

Au total, 36 populations de nématodes à kystes de la pomme de terre ont été récoltées de différentes régions prospectées et identifiées par des techniques morphométrique et moléculaire. L'étude morphométrique a montré la présence des espèces *Globodera pallida* et *Globodera rostociensis*, soit en population propre à une espèce ou en mélange. Parmi les populations analysées, 16 populations pures renferment *Globodera pallida* (44,44%), 10 populations pures incluent *Globodera rostochiensis* (27,77%) et 10 populations mixtes de deux espèces (27,77%). Les deux espèces de *Globodera* ont été trouvées à l'ouest, au centre, à l'est et au sud algérien mais avec certaines dominances. *Globodera pallida* est l'espèce la plus fréquente dans les régions prospectées. La PCR multiplexe avec les amorces spécifiques aux espèces (ITS5, PITSp4 et PITSr3) et la PCR quantitative avec des sondes TaqMan ont confirmé l'identification morphométrique. Ce procédé a mis en évidence l'utilité d'une étude combinée entre les méthodes classiques et moléculaires pour pouvoir confirmer certaines variabilités morphométriques relevées au sein des populations étudiées.

Des essais en pots ont été effectués en serre pour évaluer la multiplication de 4 populations de nématodes à kystes de pomme de terre provenant de diverses régions d'Algérie sur 6 variétés de pomme de terre. Les résultats ont montré une large variabilité de développement de ces bioagresseurs. Ceux-ci se multiplient très faiblement sur la variété Kondor.

L'étude conduite dans 10 parcelles de pomme de terre situées dans différentes régions d'Algérie sur une période de six ans successifs de 2014 à 2019 a mis en évidence l'importance des rotations culturales sur l'évolution des populations de nématodes du genre *Globodera*. Une réduction variable des niveaux d'infestation a été notée. La combinaison des rotations culturales avec des plantes non hôtes et les variétés résistantes de pomme de terre est une alternative prometteuse pour contrôler ces parasites de quarantaines.

Mots clés : Pomme de terre, nématodes à kystes *Globodera* sp., biogéographie, Algérie.

Study of the bioecology of cyst nematodes at genus *Globodera* subservient to the potato crop

Astract

This investigation was conducted in various Algerian areas between 2014 and 2018 on the presence and distribution of potato cyst nematodes of the genus *Globodera*. A total of 420 soil samples were collected from 21 potato producing. Nematodes are present in 20 regions and 148 soil samples (35.23%). The frequencies of the infestations calculated are variable according on the area surveyed. The highest frequencies were recorded in the Mostaganem (75%) and El Oued area (61.53%) and the lowest were recorded in the Tiaret and Skikda area with 5%. Infestation levels vary from one plot to another, ranging from 0 to 270 cysts / kg of soil, which corresponds to an interval of 0 to 85.39 eggs and larvae / g of soil. From the infested samples, 81.75% have a population density of less than 10 eggs and larvae / g of soil.

A number of 36 populations of potato cyst nematodes was harvested from different prospected areas and identified by morphometric and molecular techniques. The morphometric study showed the species *Globodera pallida* and *Globodera rostociensis*, either in a population specific to a species or in a mixture. Among the populations analyzed, 16 populations contain *Globodera pallida* (44.44%), 10 populations include *Globodera rostochiensis* (27.77%) and 10 with the two species (27.77%). The *Goblotera* species were found in the west, central, east and south of Algeria but with some dominance. *Globodera pallida* is the most common species in the prospected regions. Multiplex PCR by species-specific primers (ITS5, PITSp4 and PITSr3) and quantitative PCR with TaqMan probes confirmed morphometric identification. This study demonstrated the utility of a classical and molecular combination method for the confirmation of morphometric variability noticed within the populations studied.

Experiments in pots were conducted in a greenhouse to evaluate the multiplication of 4 populations of potato cyst nematodes from various regions of Algeria on 6 potato varieties. The results showed a wide variability in the development of these pests. These multiply very weakly on the variety Kondor.

The study conducted in 10 potato plots located in different regions at Algeria over a period of six successive years from 2014 to 2019 highlighted the importance of crop rotations on the evolution of nematode populations of the genus *Globodera*. A variable reduction in infestation levels was noted. The combination of crop rotations with non-host plants and potato resistant varieties is a promising alternative to control these quarantine pests.

Key words: Potato, cyst nematode *Globodera* sp., biogeography, Algeria.

دراسة بيواكولوجية الديدان ذات الأكياس من صنف *Globodera* الضارة بزراعة البطاطا

ملخص

تم إجراء تحقيق في مختلف المناطق الجزائرية بين عام 2014 و2018 حول وجود وتوزيع الديدان ذات الأكياس الضارة بالبطاطا من صنف *Globodera*. تم جمع 420 عينة تربة من 21 منطقة لزراعة البطاطا. الديدان موجودة في 20 منطقة و148 عينة تربة (35,23%). ترددات الإصابة تختلف من منطقة إلى أخرى. أعلى الترددات سجلت في منطقتين مستغانم (75%) والوادي (61,53%) وأقلها سجلت في منطقتين تيارت وسكيكدة بنسبة 5%. تختلف مستويات الإصابة من قطعة أرض إلى أخرى وتتراوح من 0 إلى 270 كيس/كغ من التربة والتي تتوافق مع مجال من 0 إلى 85,39% بيضة ويرقة/غ من التربة. من بين العينات المصابة، 81,75% تتميز بكثافة أقل من 10 بيضة ويرقة/غ من التربة.

تم جمع 36 سلالة من الديدان ذات الأكياس الضارة بالبطاطا من مناطق مختلفة وتم تحديدها بواسطة التقنيات المورفومترية والجزيئية. أوضحت الدراسة المورفومترية وجود النوعين *Globodera pallida* و *Globodera rostochiensis*، إما في سلالات نقية أو في سلالات مختلطة من النوعين. من بين السلالات التي تم تحليلها، 16 سلالة تحتوي *Globodera pallida* (44,44%) ، 10 سلالات تشمل *Globodera rostochiensis* (27,77%) و10 سلالات مختلطة من النوعين (27,77%). تم العثور على النوعين من *Globodera* في غرب، وسط، شرق وجنوب الجزائر ولكن مع بعض الهيمنة. *Globodera pallida* هي النوع الأكثر تواجدا في المناطق التي تم مسحها. PCR المضاعفة بواسطة الإشعال الخاص بالنوع (PITSp4 ، ITS5 و PITSr3) و PCR مع تحقيقات TaqMan أكدت التحديد المورفومتري. لقد أظهرت هذه الدراسة فائدة دراسة مشتركة بين الطرق الكلاسيكية والجزيئية من أجل تأكيد بعض المتغيرات المورفومترية الموجودة في المجموعات التي شملتها الدراسة.

التجارب التي أجريت في أصيص داخل البيوت البلاستيكية، من أجل تقييم تكاثر 4 سلالات من الديدان ذات الأكياس الضارة بالبطاطا من مناطق جزائرية مختلفة على 6 أنواع من البطاطا، أظهرت نتائجها تباينا واسعا في تطور هذه الآفات. هذه الأخيرة تتكاثر بشكل ضعيف جدا على نوع *Kondor*.

أبرزت الدراسة التي أجريت في 10 قطع أرض للبطاطا الواقعة في مناطق مختلفة من الجزائر على مدى ست سنوات متتالية من 2014 إلى 2019 أهمية الدورات الزراعية على تطور سلالات الديدان من صنف *Globodera*. لوحظ إنخفاض متغير في مستويات الإصابة. مزيج الدورات الزراعية من النباتات غير المضيفة وأنواع البطاطا المقاومة هو بديل واعد للسيطرة على هذه الآفات الحجر الصحي.

الكلمات المفتاحية: البطاطا، الديدان ذات الأكياس *Globodera* sp.، البيوجغرافية، الجزائر.