

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA

Stambouli Mascara



جامعة مصطفى أسطبولي معسكر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique (LRSBG)

Thèse de Doctorat

Spécialité :

Phytopharmacie et protection des végétaux

Thème

**Etude de l'état d'infestation des cultures par les nématodes :  
cas du nématode a kyste de la pomme de terre "*Globodera sp*  
: *Heteroderinae*" dans quelques régions de l'ouest Algérien**

Présentée par : M<sup>m</sup> BOUBKAR Ahlem Yasmina

Le 20/04/2025

Devant la commission de Jury

Mm.*RIGHI ASSIA F*

M. *RIGHI Kada*

Mm.*BOUNGAB K*

M. *GHELAM ALLAH A.*

M.*BOUKHARI Yahia*

Présidente

Directeur de thèse

Examineur

Examineur

Examineur

Pr. Université M. S. de Mascara

Pr. Université M. S. de Mascara

Pr. Université M. S. de Mascara

Pr. Université A.I.B.de Mostagane

M.C.A Université M. S. de Mascara

Année Universitaire 2024/2025

دراسة حالة إصابة المحاصيل بالنيما تودا: حالة نيما تودا البطاطا المتكيسة: *Heteroderinae sp: Globodera* في بعض مناطق الغرب الجزائري

الملخص:

تعد البطاطا من أكثر المحاصيل انتشارًا في الجزائر، وتزرع على نطاق واسع في جميع أنحاء المنطقة العربية من البلاد، ومع ذلك، يتعين عليها مواجهة عدد من الآفات، بما في ذلك النيما تودا (*Globodera rostochiensis*) و (*Globodera pallida*)، وتعد هذه الطفيليات من أهم الآفات من الناحية الاقتصادية، حيث تسبب أضرارًا جسيمة وخسائر كبيرة في المحصول، بالإضافة إلى خضوعها لأنظمة حجر صحي صارمة في معظم البلدان التي تتواجد فيها. وقد ساهمت هذه الدراسة في تسليط الضوء على الحالة الراهنة لإصابة قطع الأراضي في 7 ولايات لزراعة البطاطا تابعة لمنطقة الدراسة، وتم تحديد هذه الأنواع باستخدام الطرق المورفومترية والتشريحية للمخروط القاعدي للأنتى المتحوصل (*Globodera*)، كما تم التطرق إلى بيولوجيا هذه الأنواع وتوزعها الجغرافي، والكشف عن تأثير بعض العوامل الفيزيائية والكيميائية للتربة على درجة الإصابة، إضافة إلى إجراء بحث أولي عن الأعداء الطبيعية المجهرية المرافقة لهذه النيما تودا. ولتحقيق هذه الأهداف، تمت معايرة كميات العينات من التربة لتحليلها، حيث جُلبت 380 قطعة أرض بطاطس تقع في 21 موقعًا ممثلة لمواقع الدراسة، وخلص التحليل النيما تولوجي إلى أن 46.31% من قطع الأراضي كانت موبوءة، وأن 12.36% فقط من العينات احتوت على بيض (L1 و L2)، مما يكشف عن عدم تجاوز عتبة الضرر المحددة (10 بيضات + يرقات J2) من التربة في أي من الأراضي التي تم تحليلها. كما كشفت الدراسة المورفومترية والتشريحية للكيسات عن وجود نوعين من الجلوبوديرا، وأظهرت نتائج خصوبة الإناث المتكيسة أن متوسط عدد البيض الذي تنتجه الإناث تراوح بين 245 و 396 بيضة/كيس، مع سيادة البيض في حالة الطور الجنيني، وكشف التحليل الإحصائي عن وجود ارتباطات كبيرة بين العوامل التكوينية ومستويات الإصابة بالنيما تودا. كما كشفت الدراسة عن وجود تنوع بيولوجي عالٍ من الكائنات الحية الدقيقة في النظام البيئي للبطاطس، حيث أظهرت العزلات غلبة أجناس *Bacillus* و *Pseudomonas*، وتم تسجيل 173 عزلة فطرية تنتمي إلى 12 جنسًا، مع غلبة أجناس *Aspergillus* و *Penicillium*.

الكلمات المفتاحية: النيما تودا الخيطية الكيسية، الإصابة، البيولوجيا البيئية، المضادات، *Globodera*, *Solanum tuberosum* ، غرب الجزائر Maldi-Tof-ms

**Etude de l'état d'infestation des cultures par les nématodes : cas du nématode  
a kyste de la pomme de terre "*Globodera* sp : *Heteroderinae*" dans quelques  
régions de l'ouest Algérien**

**Résumé :**

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est l'une des cultures les plus dominantes en Algérie. Cependant, elle est confrontée à de nombreux ravageurs, comme les nématodes à kystes de la pomme de terre (NKPT), *Globodera pallida* (Stone) et *G. rostochiensis* (Wollenweber). Ces parasites font l'objet d'une réglementation stricte en matière de quarantaine dans la plupart des pays où ils sont présents. Cette étude a contribué à mettre en évidence ; l'état actuel des infestations des parcelles dans sept wilayas productrices de pommes de terre appartenant à la zone d'étude, à l'identification morphométrique et anatomique du cône vulvaire, à l'étude de la biologie et de la distribution des espèces de *Globodera*, ainsi qu'à la mise en lumière de l'effet de certains facteurs édaphiques sur le degré d'infestation. De plus, elle a permis de réaliser une recherche préliminaire sur les antagonistes associés aux kystes de *Globodera* sp. Des quantités représentatives de sol, provenant de 380 parcelles de pommes de terre situées dans 21 localités représentatives des sites d'étude, ont été analysées. L'analyse nématologique a permis de conclure que 46,31 % des parcelles sont infestées et que seulement 12,36 % des échantillons prélevés contiennent des œufs, L1 et L2, révélant ainsi que le seuil de nuisibilité fixé à 10 (œufs + larves J2) ·g<sup>-1</sup> de sol n'est dépassé dans aucune des parcelles analysées. L'étude morphométrique et anatomique des kystes a révélé la présence de deux espèces de *Globodera* : *G. rostochiensis* et *G. pallida*. Concernant la fertilité des femelles enkystées, les valeurs moyennes des œufs produits par femelle varient entre 245 et 396 œufs/kyste, avec une dominance des œufs pleins embryonnés. De plus, l'analyse statistique a mis en évidence des corrélations significatives entre les facteurs édaphiques et les degrés d'infestation par les NKPT. L'identification des antagonistes associés aux kystes a révélé une forte biodiversité de microorganismes au niveau de la rhizosphère de la pomme de terre. Les isollements réalisés ont montré une prédominance des genres *Bacillus* et *Pseudomonas* pour les bactéries, ainsi que la présence de 173 isolats fongiques appartenant à 12 genres, avec une prédominance des genres *Aspergillus* et *Penicillium*.

**Mots clés :** Nématode a kyste, *Globodera*, *Solanum tuberosum*, infestation, écobiologie, antagonistes, Maldi-Tof-ms ; Ouest -Algérie

**Study of the state of infestation of crops by nematodes: the case of the potato cyst nematode '*Globodera* sp: *Heteroderinae*' in some regions of western Algeria**

**Abstract:**

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most widely cultivated crops in Algeria, grown on a large scale throughout the western region of the country. However, it faces numerous pests, including potato cyst nematodes (PCNs), *Globodera pallida* (Stone) and *G. rostochiensis* (Wollenweber), which are subject to strict quarantine regulations in most countries where they occur. This study aimed to assess the current state of infestation in plots from seven potato-growing wilayas within the study area, to identify the morphometric and anatomical characteristics of the vulval cone, to examine the biology and distribution of *Globodera* species, to evaluate the impact of certain edaphic factors on the degree of infestation, and to conduct preliminary research on the antagonists associated with *Globodera* cysts. Representative soil samples were collected from 380 potato plots located in 21 localities within the study area. Nematological analysis revealed that 46.31% of the plots were infested, while only 12.36% of the samples contained L1 and L2 eggs, indicating that the harmfulness threshold set at 10 (eggs + J2 larvae) ·g<sup>-1</sup> of soil had not been exceeded in any of the plots analyzed. The morphometric and anatomical study of the cysts revealed the presence of two *Globodera* species, *G. rostochiensis* and *G. pallida*. The study of the fertility of encysted females showed that the average number of eggs produced per female ranged from 245 to 396 eggs per cyst, with a predominance of fully embryonated eggs. Additionally, statistical analysis revealed significant correlations between edaphic factors and PCN infestation levels. The identification of PCN cyst antagonists revealed a high biodiversity of microorganisms within the potato ecosystem. Isolations showed a predominance of the *Bacillus* and *Pseudomonas* genera among bacteria and the presence of 173 fungal isolates belonging to 12 genera, with a predominance of the *Aspergillus* and *Penicillium* genera.

**Keywords:** Cyst nematode, *Globodera*, *Solanum tuberosum*, infestation, ecobiology, Antagonists, Maldi-Tof-ms, western Algeria

# Remerciements

## Remerciements

*Je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui m'ont soutenu tout au long de cette aventure académique. Écrire des remerciements de thèse est un moment important. C'est l'occasion de reconnaître le soutien reçu, tant sur le plan professionnel que personnel.*

*Je témoigne en premier lieu mon énorme gratitude à mon directeur de thèse, M. **RIGHI Kada** Professeur au département d'Agronomie, faculté SNV, université Mustapha Stamboli Mascara, qui m'a encadré tout au long de cette thèse et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Vous avez toujours su me guider avec patience et bienveillance. Qu'il soit aussi remercié pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués.*

*Je souhaite remercier Mme **RIGHI ASSIA Fatima** Professeur à la faculté SNV, de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury et pour son soutien moral et ces encouragements.*

*J'exprime ma sincère gratitude à Mme BOUNGAB Karima, Professeure à l'Université de Mascara, pour avoir accepté d'examiner ce travail*

*Je remercie très vivement Monsieur **GHELAM ALLAH Amine** MCA, enseignant à l'université de Mostaganem d'avoir trouvé un intérêt pour le jugement scientifique de mon travail*

*Je remercie Monsieur, **BOUKHARI Yahia**, enseignant à l'université de Mascara d'avoir accepté de juger ce travail*

*Je tiens également à remercier aussi Mr. MOKRANI Slimane, Enseignant au département de biologie à la faculté SNV Mascara. Votre expertise et vos conseils ont été précieux. Je vous suis infiniment reconnaissante.*

*Mes remerciements les plus chaleureux vont à Mr. BENYOUCEF Madani, Professeur à la faculté SNV de m'avoir accueillie à bras ouverts au niveau du laboratoire de recherche LGEO2E, et d'avoir mis à ma disposition toutes les facilités techniques pour finaliser ma partie expérimentale, merci pour votre soutien.*

*J'exprime ma gratitude à, Dr BENGARNIA Benmerine, Pr ELOUISSI Abdelkader Professeur, Faculté SVN Mascara, Dr BOUKHARI Yahia, qui m'ont aidé tout au long de mon travail de recherche*

*Je remercie l'équipe de la station régionale de la protection des végétaux de Mascara et son directeur Mr. MEBANI omar pour son aide*

*Je dédie ce travail à mes chers parents et à Thinhinane ma fille, vous avez toujours été là pour moi dans les moments de doute comme dans ceux de réussite, merci pour votre soutien moral et vos encouragements. Vous avez su rendre les journées de travail plus légères et agréables.*

*Je souhaite également remercier mon époux, qui m'a soutenu tout au long de ce parcours. Tes mots d'encouragement et ta présence m'ont beaucoup aidé. Merci d'avoir été à mes côtés lors des moments difficiles et de célébrer les réussites ensemble. Tu as cru en moi même lorsque j'avais des doutes.*

*Un grand merci à ma famille, vos encouragements m'ont donné la force de persévérer. Je suis reconnaissante pour votre amour inconditionnel et votre soutien constant.*

*Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail. Que ce soit par un simple mot d'encouragement ou par une aide concrète, chaque geste a compté. Ces meilleurs remerciements de thèse vont à tous ceux qui ont cru en moi.*

<b>Liste des figures:</b>	<b>Page</b>
<b>Figure1:</b> Schéma descriptive d'un plan de pomme de terre.....	19
<b>Figure2:</b> Répartition de <i>Globodera rostochiensis</i> et <i>Globodera pallida</i> dans le monde.....	26
<b>Figure3:</b> Principales étapes du cycle de vie d'un nématode à kystes de la pomme de terre (NKPT) <i>Globodera pallida</i> et <i>G. rostochiensis</i> .....	31
<b>Figure4:</b> Localisation des sites d'étude(Originale).....	43
<b>Figure5:</b> Parcelle de la pomme de terre jachère (Originale).....	48
<b>Figure6:</b> Parcelle de la pomme de terre en fin de culture(Originale).....	48
<b>Figure7:</b> Analyse nématologique (Originale).....	48
<b>Figure8:</b> Appareil de Fenwick(Originale).....	49
<b>Figure9:</b> Papier filtre contenant la matière organique et les kystes.(Originale).....	50
<b>Figure10:</b> Récupération des kystes de <i>Globodera sp.</i> sous une loupe binoculaire.....	50
<b>Figure11:</b> Aspect d'un kyste plein de <i>Globodera sp.</i> (Originale).....	50
<b>Figure12:</b> Aspect d'un kyste vide de <i>Globodera sp.</i> (Original).....	50
<b>Figure13:</b> Identification morpho-métriques des kystes.(Originale).....	51
<b>Figure14:</b> Les variétés de la pomme de terre cultivées dans les parcelles prospectés dans la zone d'étude .....	53
<b>Figure15:</b> Répartition globale de l'infestation en fonction des régions.....	55
<b>Figure16:</b> Degré d'infestation des parcelles par <i>Globodera sp</i> dans la zone d'étude.....	56
<b>Figure17a:</b> Carte d'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le nématode à kyste <i>Globodera sp</i> dans la région de Mascara.....	58
<b>Figure17b:</b> Répartition de l'infestation dans la région de Mascara.....	58
<b>Figure18a:</b> Carte d'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le nématode à kyste <i>Globodera sp</i> dans la région de Tiaret.....	59
<b>Figure18b:</b> Répartition de l'infestation dans la région de Tiaret.....	59
<b>Figure19a:</b> Carte d'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le nématode à kyste <i>Globodera</i> dans la région de Temouchant .....	59
<b>Figure19b :</b> Répartition de l'infestation dans la région de Temouchant.....	59
<b>Figure20a:</b> Carte d'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le nématode à kyste <i>Globodera sp</i> dans la région de Saida.....	60
<b>Figure20b:</b> Répartition de l'infestation dans la région de Saida.....	60
<b>Figure21a:</b> Carte d'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le nématode à kyste <i>Globodera sp</i> dans la région de Sidi Bel Abbés.....	61
<b>Figure21b:</b> Répartition de l'infestation dans la région de Sidi Bel Abbés.....	61
<b>Figure22a:</b> Carte d'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le nématode à kyste <i>Globodera sp</i> dans la région de Mostaganem.....	62
<b>Figure22b:</b> Répartition de l'infestation dans la région de Mostaganem.....	62
<b>Figure23a:</b> Carte d'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le nématode à kyste <i>Globodera sp</i> dans la région de El-Bayadh.....	63
<b>Figure23b:</b> Répartition de l'infestation dans la région de El-Bayadh.....	63
<b>Figure24:</b> Biométrie du kyste(originale).....	70
<b>Figure25:</b> Coupe transversale du cône vulvaire de <i>Globodera pallid a</i> (Originale).....	72
<b>Figure26:</b> Coupe transversale du cône vulvaire <i>Globodera rostochiensis</i> .....	72
<b>Figure27:</b> Projection des variables sur le plan factoriel(1x2).....	74
<b>Figure28:</b> Projection des individus sur le plan factoriel (1x2).....	75
<b>Figure29a:</b> Carte de distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Mascara....	76

<b>Figure29b:</b> Fréquence d'occurrence des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Mascara.....	76
<b>Fig30a:</b> Carte de distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Tiaret.....	77
<b>Fig30b:</b> Fréquence d'occurrence des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Tiaret....	77
<b>Fig31a:</b> Carte de distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Mostaganem.	78
<b>Fig31b:</b> Fréquence d'occurrence des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Mostaganem.....	78
<b>Fig32a:</b> Carte de distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Saida.....	78
<b>Fig32b:</b> Fréquence d'occurrence des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Saida...	78
<b>Fig33a:</b> Carte de distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de SidiBelAbbés.....	78

<b>Fig33b:</b> Fréquence d'occurrence des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de SidiBelAbbés.....	78
<b>Figure34:</b> Répartition globale des espèces de <i>Globodera</i> identifiées dans les différentes Communes étudiées.....	79
<b>Fig35a:</b> Kystepleinde G.sp écrasé. (Originale).....	82
<b>Fig35b :</b> Œufs contenant les L1 de <i>G.sp.</i> (Originale).....	82
<b>Fig35c:</b> Nématode de <i>G.sp.</i> ,L2.(Originale).....	82
<b>Fig35d:</b> Œufs plein embryonnés de <i>Globoderasp.</i> (Originale).....	82
<b>Fig35e:</b> Œufs éclos de <i>Globodera sp.</i> (Originale).....	82
<b>Figure36:</b> Identification du contenu moyen (stades biologiques) par kyste de différentes Populations de <i>Globodera</i> .....	83
<b>Figure37:</b> Moyenne des pourcentage des fractions du sol examiné dans les 3 localités prospectées.....	89
<b>Figure38:</b> La projection des variables (facteurs édaphiques) sur le plan 1x2.....	91
<b>Figure39:</b> La projection des individus (population) sur le plan 1x2.....	92
<b>Figure40:</b> Projection biplot des variables et les individus.....	92
<b>Figure41:</b> Profilage des spectres de masse des souches isolées par typage MALDI-TOF-MS....	104
<b>Figure42:</b> Observations microscopiques des espèces de champignons isolées des kystes de <i>Globoder asp.</i> .....	107
<b>Figure43 :</b> Fréquence des champignons isolés des kystes de <i>Globodera sp</i> par ordre et par Famille dans les quatre régions étudiées.....	108
<b>Figure44:</b> Distribution des champignons isolés des kystes de <i>Globoderasp</i> par genre dans les quatre régions étudiées. FR : rapport de fréquence.....	108 109
<b>Figure45:</b> La projection des champignon sur le plan 1x2 de l'AC.....	110
<b>Figure46:</b> La projection des régions sur le plan 1x2 de l'AC.....	

<b>Liste des Tableaux:</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau1:</b> Production mondiale de pomme de terre en Tonnes métrique. FAOSTAT 2023.....	20
<b>Tableau2:</b> Évaluation des critères morphométriques de <i>G.pallida</i> et <i>G.rostochiensis</i> ..	27
<b>Tableau3:</b> Coordonnées géographiques et climatiques des sites étudiées.....	45
<b>Tableau4:</b> Régions prospectées, variétés utilisé, précédant cultural, nombre d'échantillons Contenant des kystes, des œufs et des larves des nématodes <i>Globodera</i> sp.....	52
<b>Tableau5:</b> Infestation des parcelles de pomme de terre par <i>Globodera</i> .....	63
<b>Tableau6:</b> Caractéristiques des sites des nématodes à kystes identifiés.....	69
<b>Tableau7:</b> Caractéristiques morphologiques de <i>G.pallida</i> <i>G.rostochiensis</i> .....	71
<b>Tableau8:</b> Evaluation des critères morphométriques de <i>G.pallida</i> et <i>G.rostochiensis</i> : Fleming et Powers (1998).....	71
<b>Tableau9:</b> pourcentage de variances des 2 axes.....	73
<b>Tableau10:</b> Coordonnées des variables sur le plan 1x2.....	73
<b>Tableau11:</b> Coordonnées des individus sur le plan 1x2.....	74
<b>Tableau12:</b> Contenu moyen des kystes de <i>Globodera</i> sp dans les régions étudiée..	83
<b>Tableau13:</b> Les normes d'interprétation du pH.....	86
<b>Tableau14:</b> Classification de la salinité des sols en fonction de leurs effets sur la croissance et le rendement des plantes (Abrol et al. 1988).....	87
<b>Tableau15:</b> La matière organique dans le sol .....	87
<b>Tableau16:</b> valeurs des paramètres physico-chimique étudiées.....	89
<b>Tableau17:</b> Statistiques générale des différents paramètres physico-chimiques des Echantillons de sol dans les parcelles de la pomme de terre des localités prospectée	90
<b>Tableau18:</b> Matrice de corrélation linéaire entre les paramètres du sol et le degré D'infestation (nombre d'œufs et larves/gr de sol) des parcelles de pomme de terre par le Nématode <i>Globodera</i> sp.....	93
<b>Tableau19:</b> Signification des valeurs des scores (échantillon standard)	97
<b>Tableau20:</b> identification microscopique, physiologique et biochimique de <i>Bacillus</i> ....	99
<b>Tableau21:</b> identification microscopique, physiologique et biochimique de <i>Pseudomonas</i> .....	100
<b>Tableau22:</b> Identification par MALDI-TOF-MS des bactéries isolées des kystes de <i>Globodera</i> sp.....	105
<b>Tableau 23:</b> Caractères morphologiques des champignons antagonistes des kystes de <i>Globodera</i> sp.....	105
<b>Tableau 24:</b> Pourcentage de variance des axes.....	109

<b>Liste des abréviations</b>	<b>abréviations</b>
Analyse a composantes variables.....	ACP
Conductivité électrique.....	CE
Centre national de control et certification des semences et plants.....	CNCC
Autorité européenne de sécurité des aliments.....	EFSA
<i>Globodera pallida</i> .....	<i>G. p</i>

<i>Globodera rostochiensis</i> .....	<i>G. r</i>
Institut National de la Protection des Végétaux.....	INPV
Laboratoires de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique.....	L.R.S.B. G
Largeur du kyste.....	Larg
Longueur du kyste.....	Long
La spectrométrie de masse par désorption laser à temps de vol assistée par matrice.....	MALDI-TOF-MS
Longueur du cou.....	N
Nématode a kyste de la pomme de terre.....	NKPT
Nombre des tries entre l'anus et le fenestre vulvair.....	NSAFV
Rapport de fréquence.....	FR
<i>Pseudomonas</i> .....	P
<i>Bacillus</i> .....	B

## Table des Matières

الملخص:	2
Résumé :	3
Abstract:	4
Remerciements	6
Liste des figures:	7
Liste des Tableaux:	9
Liste des abréviations	10
Introduction generale	16
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : DONNÉES SUR LA CULTURE DE LA POMME DE TERRE ( <i>Solanum tuberosum</i> L) .....	20
1. Historique :	20
2. Description Botanique :	20
3. Importance économique :	21
3.1. Dans le monde	21
3.2. En Algérie	22
4. Les variétés de pomme de terre cultivées en Algérie :	23
5. Stade phénologique de la pomme de terre :	23
5.1. Phase de repos végétatif	23
5.2. La germination	23
5.3. Phase de croissance végétative	23
6. Les principales maladies et ravageurs de la pomme de terre :	24
6.1. Les maladies	24
6.1.1 Gale commune :	24
6.1.2. Jambe noire :	24
6.1.3. Alternariose	24
6.1.4. Mildiou	25
6.2. Ravageurs	25
6.2.1. Insectes	25
6.2.2. Les nématodes	25
CHAPITRE II : NEMATODE A KYSTE DE LA POMME DE TERRE « <i>Globodera sp</i> » .....	27
1. Origine	27
2. Historique	27
3. Répartition géographique	27
3.1. Dans le monde	27
3.2. En Algérie	28
4. Systematique	29

5.	Importance économique .....	30
6.	Statut réglementaire .....	30
7.	Morphologie : .....	31
7.1.	Œufs : .....	31
7.2.	Stade J2.....	31
7.3.	J3 et J4 .....	31
7.4.	Femelles.....	31
7.4.1.	<i>Globodera pallida</i> .....	32
7.4.2.	<i>Globodera rostochiensis</i> .....	32
7.5.	Kyste .....	32
7.6.	Males :.....	32
8.	Cycle biologique .....	32
8.1.	Diapause : .....	34
8.2.	Éclosion.....	34
9.	Mode de dissémination des nématodes phytoparasitaires :.....	34
10.	Symptômes et dégâts .....	36
11.	Spectre d'hôte : .....	36
12.	Facteurs influençant sur le développement du nématode à kyste de la pomme de terre :.....	36
12.1.	Facteurs climatiques :.....	36
12.1.1.	Température :.....	37
12.1.2.	Humidité : .....	37
12.2.	Facteurs édaphiques : .....	37
12.2.1.	Type de sol .....	37
12.2.2.	Porosité.....	37
12.2.3.	Oxygène.....	37
12.2.4.	PH.....	38
12.3.	Facteurs biotiques : .....	38
12.3.1.	Plante hôte : .....	38
12.3.2.	Matière organique : .....	38
12.3.3.	Monoculture : .....	38
13.	Méthode de lutte : .....	39
13.1.	Méthodes culturales :.....	39
13.1.1.	Désherbage : .....	39
13.1.2.	Jachère : .....	39
13.1.3.	Rotation : .....	39
13.1.4.	Plante piège :.....	40

13.1.5. Amendements et engrais : .....	40
13.1.6. Variétés résistantes : .....	40
13.2. Méthodes physiques .....	41
13.3. Méthode chimique .....	41
13.4. Lutte biologique .....	42
13.5. Lutte intégrée .....	43
PARTIEII : ANALYSE EXPERIMENTALE .....	45
CHAPITREI : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE.....	46
1. Introduction.....	46
2. Principales wilayas productrices de la pomme de terre dans la région d'étude.....	47
3. Principales variétés utilisées : .....	48
.4 Localisation des parcelles echantionnées .....	48
CHAPITREI : ETAT DES INFESTATIONS DES PARCELLES PAR LES NEMATODES A KYSTES DE LA POMME DE TERRE DU GENRE <i>Globodera</i> .....	50
1. Matériel et Méthodes.....	50
1.1. Elaborations du questionnaire : .....	50
1.2. Analyse nématologique : .....	50
1.2.1. Echantillonnage : .....	50
1.2.2. Extraction des kystes : .....	52
1.2.3. Mode opératoire : .....	52
1.2.4. Récolte des kystes : .....	53
1.2.5 Dénombrement : .....	54
1.3. Evaluation de l'état d'infestation : .....	54
2. Résultats : .....	55
2.1. Répartition du taux d'infestation des parcelles par le nématode à kystes <i>Globodera</i> sp. dans différentes régions : 57	
2.2. Degré d'infestation des parcelles de pomme de terre : .....	59
2.2.1. Dans la wilaya de Mascara .....	60
2.2.2. Dans la Wilaya de Tiaret : .....	61
2.2.3 Dans la wilaya de Témouchent : .....	62
2.2.4. Dans la Wilaya de Saida : .....	63
2.2.5. Dans la Wilaya de Sidi Bel Abbés : .....	63
2.2.6. Dans la Wilaya de Mostaganem : .....	64
2.2.7. Dans la Wilaya d'El-Bayadh : .....	65
3. Discussion : .....	67
Chapitre II : IDENTIFICATION, FREQUENCE D'OCCURRENCE ET DISTRIBUTION DES ESPECES DE <i>Globodera</i> sp .....	72

1. Matériel et méthodes :.....	72
1.1. Analyse morphométrique .....	72
2. Résultats et Discussion : .....	73
3. Analyse des données : .....	76
3. Distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre ( <i>Globodera sp</i> ) : .....	78
3.3. Distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Mostaganem : .....	80
3.4. Distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de Saida : .....	80
3.5. Distribution des espèces de <i>Globodera</i> dans la région de SidiBel Abbés : .....	81
CHAPITRE III : ETUDE BIO-ÉCOLOGIQUE DES KYSTES de <i>Globodera sp</i> .....	84
1. Matériel et Méthodes : .....	84
2. Résultats : .....	84
3. Discussion : .....	87
4. Etude de l'influence de quelques facteurs é daphiques sur la fertilité et la fécondité.....	87
4.1. Matériel et méthode : .....	88
4.1.1. Échantillonnage et préparation des échantillons de sol : .....	88
4.1.2. Analyses au laboratoire .....	88
4.1.2.1. Texture du sol : Granulometrie.....	88
A. Préparation de l'échantillon : .....	88
B. Dosage : .....	88
4.1.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH) .....	89
A. Mode opératoire du pH réel.....	89
4.1.2.3. Conductivité électrique (CE).....	90
4.1.2.4. Matière organique : PAF sans décarbonatation.....	90
5. Traitement des données .....	91
6. Résultats .....	91
6.1. Texture du sol : .....	91
6.2. pH : .....	93
6.3. CE : .....	93
6.4. Matière organique : .....	93
7. Traitement des données .....	94
7.1. Matrice de corrélation : .....	96
8. Discussion : .....	96
CHAPITRES VI : RECHERCHE PRELIMINAIRE SUR LES ANTAGONISTES NATURELS DU NEMATODE A KYSTE DE LA POMME DE TERRE <i>Globodera sp</i> .....	99
1. Materiel et méthodes : .....	99
1.1. Isolement des antagonistes naturels des kystes de <i>Globodera spp</i> : .....	99

1.1.1.	Isolement des bactéries.....	99
1.1.1.1.	Identification des bactéries par la méthode MALDI-TOF-MS .....	100
1.1.2.	Isolement des champignons.....	100
1.1.2.1.	Repiquage des champignons : .....	101
1.1.2.2.	Purification des champignons antagonistes.....	101
1.1.2.3.	Identification morphologique : .....	101
1.1.2.4.	Identification microscopique : .....	101
1.1.2.5.	Fréquence des champignons.....	101
2.	Résultats .....	102
2.1.	Identification microscopique, physiologique et biochimique des bactéries .....	102
2.2.	Identification des bactéries par typage MALDI-TOF-MS .....	103
2.3.	Typage par MALDI-TOF-MS .....	107
2.4.	Identification des champignons.....	108
2.5.	Fréquence des champignons.....	110
2.5.1	Répartition des champignons par ordre et par famille.....	110
2.5.2.	Répartition des champignons par genre .....	111
3.	Traitement des données : .....	112
4.	Discussion :.....	113
	Conclusion générale : .....	120
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : .....	123
	Annexe.....	138

# **Introduction generale**

## Introduction générale :

La pomme de terre « *Solanum tuberosum* » est l'une des principales cultures agricoles qui peuvent participer à la lutte contre la famine mondiale. Il s'agit d'une plante au cycle court qui génère une production importante par hectare, contrairement à d'autres cultures au cycle long comme les céréales.

L'accroissement de la consommation mondiale de pommes de terre, stimulé par le développement démographique et l'intensification de l'urbanisation, a provoqué une augmentation significative de la production mondiale. (Birch *et al.*, 2012).

La production de pomme de terre joue un rôle crucial dans le secteur agricole algérien. Il est essentiel de privilégier cette culture en raison de son aspect économique, sa rentabilité et du rôle qu'elle occupe dans la sécurité alimentaire

La production de pommes de terre est instable. (MADR, 2019). De nombreux facteurs entravent ce processus, tels que les imprévus climatiques, le manque de contrôle sur l'itinéraire technique, notamment la détermination du potentiel génétique de la semence et le travail du sol (Chehat, 2008), ainsi que les maladies et les agressions 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 nématodes sont présents dans une multitude d'habitats naturels et, en plus d'infester les végétaux supérieurs, les champignons, les invertébrés et les vertébrés, ils peuvent également vivre librement dans le sol, les milieux marins et dans les eaux douces (Croll, 1970).

Les nématodes à kystes de la pomme de terre (NKPT) *Globodera rostochiensis* et *G. pallida* bien que ces espèces puissent infecter de nombreuses espèces de *Solanum*, elles sont, d'un point de vue économique, principalement des parasites de la pomme de terre (Whitehead, 1985) et considéré comme l'un des pathogènes les plus nuisibles de la pomme de terre (Nikitin, 1972).

Les NKPT sont des endoparasites sédentaires qui présentent un dimorphisme sexuel marqué (Brodie, 1984), ce parasite passe l'hiver dans le sol sous forme d'œufs et de larves enkystées, bien protégés des facteurs environnementaux défavorables. Les femelles sont dotées d'une caractéristique qui leur permet de transformer leurs cuticules en une capsule protectrice durable pour leurs œufs qui peuvent persister dans le sol pendant des décennies.

Par ailleurs, la présence prolongée de ces bioagresseurs dans le sol est associée à une persistance durable de leur kyste, ce qui conduit à l'interdiction de la production de pommes de terre sur plusieurs ans (Youssef, 2013). Toutefois, ils sont fréquemment négligés en raison de leur nature microscopique.

L'interaction de ce parasite avec la culture hôte provoque des symptômes superficiels plutôt non spécifiques, comme la détérioration, le flétrissement, le jaunissement, le retard de développement et le dessèchement du plant de pommes de terre, ainsi que des zones où sa croissance est faible sur la parcelle. (Mugniéry *et al.*, 1996 ; Turner et Evans, 1998 ; OEPP, 2004). Ils envahissent les racines de la pomme de terre, provoquant une réduction de la croissance et un retard dans le développement de la culture (Schomaker et Been, 2006).

Outre cet impact direct sur le rendement des cultures, Les nématodes à kystes ont aussi un impact indirect, du fait de la hausse des dépenses que les producteurs doivent affronter pour leur contrôle et de la diminution de la qualité des produits. Ils provoquent également des pertes indirectes en raison des coûts additionnels associés aux mesures de contrôle, notamment le prix élevé des produits nématicides. (Alan et Susan, 1998 ; Evans *et al.*, 2002).

Les dégâts causés par les NKPT et l'énorme difficulté de les éradiquer une fois qu'ils sont établis dans le champ ont conduit à la mise en œuvre de réglementations de quarantaine strictes dans de nombreuses régions du monde afin de contenir et d'empêcher la propagation de ce ravageur.

Au cours des dernières années, une attention particulière a été accordée à la préservation de l'environnement en privilégiant le recours aux amendements organiques (Renco *et al.*, 2011 ; Mokrini *et al.*, 2018) Par conséquent, l'emploi de microorganismes antagonistes ou de leurs composants (enzymes, antibiotiques et toxines) pourrait constituer un champ d'étude fascinant qui répond à ces critères (Rasmann *et al.*, 2012).

Les micro-organismes les plus couramment employés et qui présentent un intérêt agronomique significatif sont les champignons antagonistes et les bactéries nématoparasites (Abd-Elgawad et Askary, 2018).

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 dans les parcelles de pomme de terre appartenant a différentes Wilayas et localités dans la zone d'étude, considéré comme étant une zone far pour la production de pomme de terre.

Notre recherche consiste dans un premier volet à évaluer l'étendue d'infestation des parcelles de pomme de terre par le NKPT et de cartographier les degrés d'infestation de chaque localité. Le second porte sur la détermination et la distribution de *G. pallida* et *G. rostochiensis*

La 3ème partie est consacré à l'étude bioécologique du parasite, le 4ème volet porte sur l'étude de quelques facteurs édaphiques qui peuvent avoir une influence sur la densité de NKPT, et avant de conclure cette recherche nous aborderons l'interaction du NKPT avec les micro- organismes antagonistes et leurs actions nématicide sur le parasite en question

# **PARTIEI :**

# **CHAPITRE 1**

## CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : DONNÉES SUR LA CULTURE DE LA POMME DE TERRE (*Solanum tuberosum* L.)

### 1. Historique :

Les données archéologiques indiquent que des communautés de chasseurs et de cueilleurs arrivées dans le sud du continent américain il y a au moins de 7 000 ans ont commencé à domestiquer des espèces de pommes de terre sauvages qui poussaient en abondance autour d'un lac nommé Titicaca, situé à 3 800 mètres d'altitude dans la cordillère des Andes, à la frontière entre la Bolivie et le Pérou (Salaman RN, 2010).

Environ 200 espèces de pommes de terre sauvages ont été identifiées dans les Amériques. Ce sont les agriculteurs qui ont sélectionné et amélioré les premiers spécimens de ce qui allait devenir, au fil des millénaires, une diversité de tubercules sans précédent. La pomme de terre actuellement connue sous le nom d'espèce *Solanum tuberosum* ne contient en fait qu'une fraction de la diversité génétique présente dans les espèces reconnues et dans les 5 000 variétés de pommes de terre qui sont encore cultivées aujourd'hui dans les Andes (Lutaladio et Prakash, 2010)

### 2. Description Botanique :

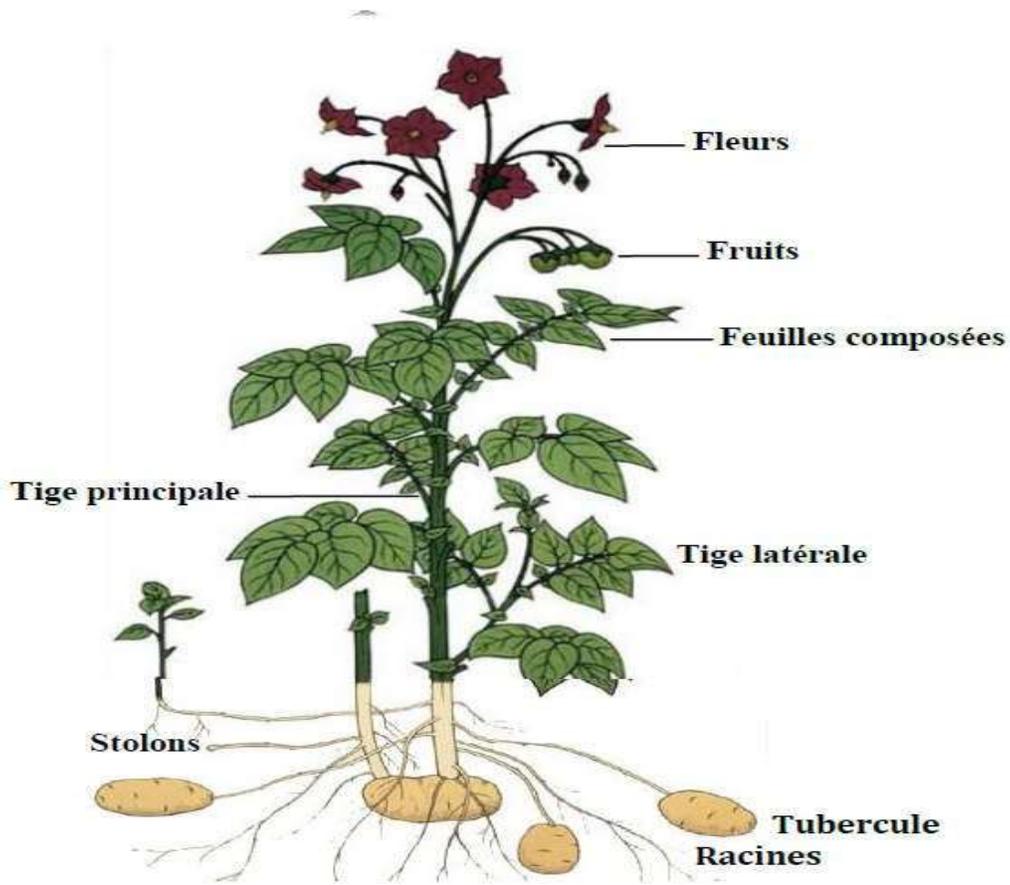
La pomme de terre « *Solanum tuberosum* » appartient à la famille végétale des Solanacées, qui comporte environ 2000 espèces, elle est regroupée autour du genre *Solanum* (Guignard et Dupont, 2015)

*Solanum tuberosum* est une plante herbacée, vivace, une culture à cycle annuel divisé en 2 groupes de cultivars légèrement différents : *Andigenum*, adaptée aux jours courts et cultivé surtout dans les Andes, et *Chilotanum* (pomme de terre européenne), aujourd'hui cultivée dans le monde entier (Yaya et al., 2009)

La pomme de terre est constituée de deux parties distinctes :

Partie aérienne comportant tiges, feuilles composées qui par leurs diversités d'aspect et de couleurs peuvent déterminer les différentes variétés, les fleurs sont hermaphrodites, autogames, leur couleur varie du blanc, rose, bleu au violet selon la variété, les fruits sous forme de baies sphérique ou ovoïdes, généralement de couleur verte, contenant des graines de petite taille, qui sont insignifiantes en culture, mais primordiales en sélection amélioratrice.

Partie souterraine ou système racinaire : composé de racines fines et fasciculées, de tiges souterraines ; stolons qui en s'épaississant forment des tubercules (FAO), c'est l'organe responsable de la conservation des réserves nutritives de la plante (Yaya et al., 2009)



**Figure1** : Schéma descriptive d'un plan de pomme de terre (Oswaldo ,2010.)

### **3. Importance économique :**

#### **3.1. Dans le monde :**

Compte tenu de son abondance en glucides complexes (amidon) et en fibre alimentaires totalement digestibles (Christian et al., 2013) la pomme de terre est classée au 4<sup>ème</sup> rang après le maïs, le blé et le riz comme principales cultures vivrières (Yaya et al., 2009)

La production mondiale de la pomme de terre a connu une remarquable hausse au cours de cette dernière décennie passant de 330780260 tonnes en 2009 à 370440000 Tonnes en 2021 (Fig 2)

Avec une production de 91820000 Tonnes sur une superficie de 4912161 ha en 2021, la Chine est le plus grand producteur de pomme de terre au monde suivie de l'Inde avec 50190000 Tonnes et de la Russie avec une production de 22074874 Tonnes en 2021 (FAO)

**Tableau 1** : Production mondiale de pomme de terre en tonnes métrique (Mt), FAOSTAT2023

<b>Pays</b>	<b>Production de pomme de terre (Tonnes métrique)</b>
1. Chine	93 491 818
2. Inde	60 142 000
3. Ukraine	21 358 630
4. Etatsunies	19 992 090
5. Russie	19 327 000
6. Allemagne	10 497 430
7. Bangladesh	9 872 000
8. France	8 800 000
9. Pologne	8 200 000
10. Pays-Bas	7 885 000

### **3.2. En Algérie :**

Occupant une place fondamentale dans la ration alimentaire de l'habitant algérien, selon une enquête de l'OMS la pomme de terre a connu une hausse dans sa consommation passant de 34kg/habitant/an en 1979-1980a 113kg/habitant/an en 2015 (Lefki, 2018)

L'accroissement de la demande a conduit à l'augmentation de la production locale qui a doublé en une décennie passant de 26360575 Tonnes en 2009 pour atteindre 46533222 Tonnes pour la campagne 2018/2019 qui s'étend sur une superficie de 149665 ha (DSASI, 2021) grâce à son cycle de courte période qui permet 3 campagnes et 3 récoltes par an (Tria et Chehat, 2013)

Culture de saison qui s'étend de Janvier à mars occupant ainsi 51% de la superficie, moins exigeante en termes d'irrigation, cependant en fin de période l'irrigation est primordiale pour le bon développement de la culture, culture arriéré saison qui s'étend de Juillet à aout occupant ainsi 45% de la superficie, sa culture sera en période sèche ce qui implique la disponibilité de l'irrigation, culture primeur qui s'étend d'octobre à novembre représentant ainsi 5% de la superficie, sa mise en place dépendra entièrement sur la pluviométrie et la rigueur des températures, ce qui a conduit à l'amplification de son poids économique et sociale, en 2011 la filière comptait un chiffre d'affaire évalué à plus de 130 milliard de DA, l'équivalent de près d 1.8milliard US\$ (Tria et Chehat, 2013)

Cultivée sur tout le territoire algérien, la pomme de terre occupe 3 bassins de production dans le littoral et le sublittoral ayant pour wilaya pivot : Mascara a l'ouest, Ain Defla au centre et El-Oued au sud. Oued Souf est devenu le 1<sup>er</sup> bassin de production de la pomme de terre, ce bassin concentre aujourd'hui 40% de la production nationale de la pomme de terre après le recul de certaines cultures irriguées dans le bassin de production de la wilaya de Mascara cas de la pomme de terre (Bessaoud, 2019)

Principales wilayas productrices de pomme de terre en Algérie (MADRP) sont pour la plantation primeur : Boumerdes, Tipaza, Skikda, Alger, Tlemcen, pour la plantation de la saison : Ain Defla, Mascara, Mila, Souk-ahras, Boumerdes, Mostaganem, Sétif, El-Oued et Batna, et pour la plantation de arrière saison : El-Oued, Ain-Defla, Mascara, Guelma, Chelef et Tlemcen (ITCMI, 2010)

#### **4. Les variétés de pomme de terre cultivées en Algérie :**

Face aux conditions biotiques, abiotiques et socio-économiques, l'amélioration variétale des plantes est nécessaire pour assurer la durabilité, améliorer la qualité des produits et contribuer à l'accroissement et l'intensification des productions agricoles. (Lavigne, 2005)

Tenant compte de la gravité de l'utilisation excessive et perpétuelle des pesticides sur l'environnement et sur la santé humaine, la résistance variétale occupe une place vitale dans les programmes de lutte contre les bio-agresseurs. (Lavigne, 2005)

Selon la CNCC (centre national de control et certification des semences et plants), il y'aurait 195 variétés de pomme de terre en Algérie, mise sur le marché pour la consommation en frais ou dans l'agro-industrie pour la transformation, parmi ces variétés on trouve : Alaska, Aida, Amorosa, Apolline, Atlas, Balade, Cleopatra, Carmine, Désiré, Spunta, Yesmina, Daisy, El-hogar, Kondor. (CNCCSP. 2024)

#### **5. Stade phénologique de la pomme de terre :**

Selon Rousselle et al (1996), la durée du cycle végétatif dépend de l'état physiologique des tubercules, des facteurs agroclimatique et de la variété utilisée

##### **5.1.Phase de repos végétatif :**

A la récolte, le tubercule est incapable de germer même placé dans des conditions optimales de température (18°C – 20°C) et d'humidité (85% – 90%) (Soltner, 2003), cette période correspond à la phase de dormance qui s'étend de la récolte jusqu'au début de développement des yeux (Reust, 1982)

##### **5.2. La germination :**

Les tubercules vont émettre des germes qui vont s'allonger. Le germe apical entre en croissance en dominant sur les autres germes en les empêchant de germer. (Soltner, 2003)

##### **5.3. Phase de croissance végétative :**

Période correspondant à l'élongation et la ramification des racines, les germes continuent leurs croissances en donnant des tiges feuillées, les bourgeons aériens donnent naissance à des rameaux et ceux souterrain à des stolons. (Mazoyer, 2002)

#### **5.4. Phase de tubérisation :**

D'après Soltner (1985), ce phénomène dépend de la variété et du climat, l'élongation des stolons cesse de progresser et leurs extrémités se renflent en formant des ébauches de tubercules. Ces derniers vont grossir due à l'accumulation dans le tissu des substances de réserves synthétisées par le feuillage appelé processus de multiplication cellulaire. (Bernhards, 1998)

Les tubercules vont cesser de grossir, le feuillage jaunit progressivement de la base vers le sommet de la plante ce qui va entraîner le dessèchement du système aérien ; c'est la période de la sénescence de la plante

## **6. Les principales maladies et ravageurs de la pomme de terre :**

### **.6.1. Les maladies**

#### **.6.1.1 Gale commune :**

Maladie bactérienne tellurique causé par *Streptomyces scabiei* qui par l'émission d'une toxine appelé thaxtamine (TA) (Nathalie, 2016), elle inhibe la synthèse de la cellulose dans la paroi cellulaire des cellules végétales entraînant ainsi la mort des cellules du périoderme de la pomme de terre ce qui va entraîner la rupture de l'épiderme et l'apparition de lésions qui au fur et à mesure que le tubercule se développe vont s'élargir, causant ainsi des pertes économiques colossales sur le rendement.

#### **6.1.2. Jambe noire :**

Jambe noire ou pourriture molle est une maladie très répandue dans les régions de cultures et de stockage de la pomme de terre, causé par des bactéries du genre *Pectobacterium* et *Dickeya*. Cette maladie se manifeste par la dégradation des tissus végétaux (Hélias, 2008). Les premiers symptômes se traduisent par le flétrissement soudain des tiges, qui peut être accompagné d'un jaunissement des feuilles

Le symptôme de la pourriture brun foncé d'où son nom a la maladie est causé par la dépolymérisation de la pectine des parois cellulaires des tissus du tubercule par des enzymes comme la pectate lyase et des polygalacturonases secrétées par les bactéries responsables de la maladie (McMillan, 1993 et Czajkowski, 2010).

#### **6.1.3. Alternariose :**

Maladie phytopathogène causé par le champignon *Alternaria sp*, considéré comme parasite de faiblesse, ce champignon peut s'introduire à travers une blessure simple d'un organe et causé une infection directe (Messiaen, 1991)

Les premiers symptômes apparaissent quelques semaines après la levée de la plante, se manifestant sur les feuilles par des lésions, taches ayant la forme d'anneaux, et de petites taches foncées de 1mm sur les feuilles du bas (CEE-ONU, 2014).

Les symptômes peuvent se manifester aussi sur les tiges en provoquant des lésions de 5cm de longueur et peuvent s'étendre jusqu'à la pétiole (Grogan, 1975 et Verma, 2010).

Une fois que les lésions progressent et ceinture la tige, la plante meurt, une pourriture sèche va se développer au niveau du xylème (Grogan, 1975) et parfois peut atteindre les tubercules bas.

#### **6.1.4. Mildiou :**

Causant des famines en Irlande et en Allemagne au 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècle, le mildiou est une maladie fongique redoutable causée par *Phytophthora infestans*, survivant en période de végétation dans les tubercules et les tissus végétales de la plante sous forme de mycélium et dans le sol sous forme de oospores, le développement de cette maladie est favorisé par une humidité de plus 90% et des températures de 10 à 15°C la nuit et de 16 à 20°C le jour. (Réseau d'avertissement phytosanitaire, 2015)

### **6.2. Ravageurs :**

#### **6.2.1. Insectes :**

Les principaux insectes susceptibles de s'attaquer à la pomme de terre sont peu nombreux et appartiennent à divers ordres entomologiques : lépidoptères (teigne de la pomme de terre, *Noctuelle terricole* ou ver gris, noctuelle défoliatrice) coléoptères (Doryphore, taupin, ver blanc) hémiptère (citadelle de la pomme de terre, citadelle de l'aster), homoptère (pucerons, punaise de la pomme de terre)

#### **6.2.2. Les nématodes :**

Divers genres de nématodes sont inféodés à la pomme de terre, on distingue parmi eux : les *Pratylenchus*, les *Ditylenchus*, les *Méloidogyne* et les nématodes à kyste de la pomme de terre *Globodera sp* ; un endoparasite sédentaire, l'un des plus dommageables au monde, considéré comme un organisme de quarantaine, selon plusieurs études menées en Algérie ce parasite est présent dans différentes régions sur le territoire national.

# **Partie I**

## **CHAPITRE 2**

## CHAPITRE II : NEMATODE A KYSTE DE LA POMME DE TERRE « *Globodera sp* »

### 1. Origine :

Originaire des hautes terres andines d'Amérique du sud plus exactement entre la frontière du Pérou et de la Bolivie, le nematode à kyste de la pomme de terre (NKPT) aurait co-évoluer avec la pomme de terre sauvage, son hôte principale (Grenier, 2010)

Le NKPT recense 2 espèces : *Globodera rostochiensis* ou nématode doré qui selon Evans et Stone, (1977) est le plus abondant, retrouvé dans plus de 75 pays (Yu, 2010) et le *Globodera pallida* ou nématode pale

### 2. Historique :

Le premier à avoir observé les nématodes à kystes du genre *Heterodera* sur pomme de terre fut Kühn, qui attribua l'attaque à *H. schachtii* en 1881. Malgré cette observation, Kühn et Hollrung ont classé 10 ans plus tard les solanacées comme résistantes aux attaques de *H. schachtii* (Franklin, 1951).

En 1914, Zimmerman a été le premier à déclarer que la pomme de terre pouvait être parasitée et gravement endommagée par des espèces d'*Heterodera* (Franklin, 1951). Wollenweber a été le premier à reconnaître les différences morphologiques entre le nématode de la betterave sucrière et celui de la pomme de terre en 1923 (Franklin, 1951).

Les NKPT, ont été décrits par WollerWeberc en 1923 et considéré comme seule et unique espèce : *Heterodera rostochiensis* (Nématode doré de la pomme de terre) et ce n'est qu'en 1973 que Stone a décrit la 2ème espèce le nématode pale de la pomme de terre *Heterodera pallida*, le sous groupe *Globodera* a été créer par Skarbilovich en raison de la forme globulaire des kystes, qui ensuite a été élevé en genre par Behens en 1975 (Behrens, 1975).

### 3. Répartition géographique :

#### .3.1. Dans le monde

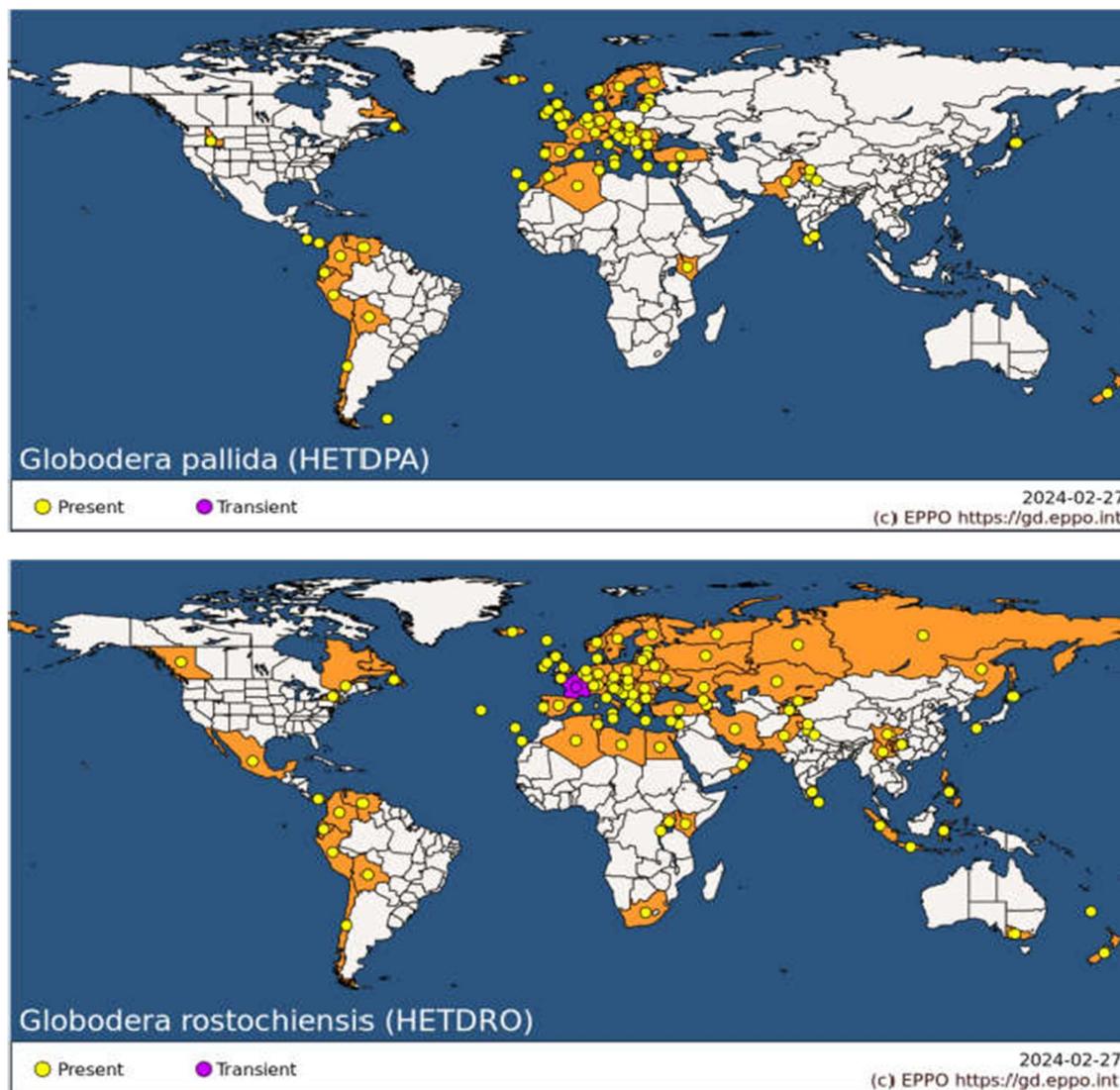
L'introduction initiale du NKPT en Europe n'est probablement attribuable qu'à un petit nombre de populations sud-américaines. Il est très probable qu'après l'établissement du NKPT en Europe, celle-ci ait servi de centre de distribution secondaire, le NKPT étant transporté vers d'autres pays sur des pommes de terre de semence (Evans et Rowe, 1998 ; Turner et Evans, 1998). Des études moléculaires ont confirmé l'étroite relation phylogénétique entre les populations de NKPT au Canada (Madani et al., 2010), aux États-Unis (Skantar et al., 2007) et en Ukraine (Pylypenko et al., 2005).

Probablement introduite avec des tubercules collectés vers les années 1850 pour leur résistance au *Phytophthora infestans*, ensuite par l'intermédiaire des distributions des plants européens, les 2 espèces ont été répandue vers d'autres régions (Rousselle, 1996)

Signalé en Allemagne pour la 1ère fois en 1880, en Angleterre en 1917, en Irlande du nord et en Suède en 1922 (Belhadj, 2007)

Aux Etats Unis, le NKPT a été signalé pour la 1ère fois dans l'état de New York en 1946. Pour le Canada c'était l'apparition des 2 espèces en 1962 sur l'île de terre Neuve (Stone, 1977 et Olsenand, 1962)

La dispersion révèle de la spéculation présente sur tous les continents, dans les zones tempérées, tropicales et méridionales, au niveau de la mer et a plus haute altitude.



**Figure2** : Répartition de *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* dans le monde. (Source EPPO 2024)

Les deux espèces de *Globodera* diffèrent dans leurs exigences thermiques ce qui affecte leurs distributions géographiques dans le monde (Moxnes et Hausken, 2007)

### 3.2. En Algérie :

Selon des études sur la diversité moléculaire et sur l'association phylogéniques les populations des 2 espèces de NKPT, *G. pallida* et *G. rostochiensis* on conclut que les populations

algériennes sont d'origine européenne introduites par des plants de pomme de terre infestés (Mezerket, 2018) plus précisément par des plants venus des terres britanniques vers 1953 (Frézal, 1954 ; Scotto, 1961)

Signalé en 1954 sur le littoral algérois, 33 communes seront touchées au environ d'Alger en 1961. Ensuite le NKPT s'est répandu dans les wilayas pilote de la pomme de terre, Ain Defla, Tipaza, Chlef, Mascara et Sétif (I.N.P.V, 2009)

#### 4. Systematique :

Les NKPT sont des métazoaires appartenant à l'embranchement des némathelminthes, du phylum nématoda de la classe des *Secernentea* de la sous classe des *Diplogasteria*, de l'ordre des *Tylenchidea*, de la famille des *Heteroderidae*, en vue de la diversité et le nombre d'espèces et les dégâts majeurs que causent ces derniers, il représente l'ordre le plus éminent des nématode phytoparasitaires qui regroupe une vingtaine de genre d'où le genre *Globodera*

Le genre *Globodera* est formé de deux clades monophylétiques (Subbotin et al. 2001). Le premier regroupe les espèces eurasiennes, telles que *G. achilleae* et *G. artemisiae*, qui se développent sur les *Asteraceae*, et le second englobe les espèces sud-américaines qui parasitent les *Solanaceae*.

Ces espèces peuvent être différenciées par des critères morphologiques des kystes (taille et forme) et du 2ème stade larvaire du nématode par la structure périnéale du kyste (Djebroune, 2013)

Dans l'identification des 2 espèces de NKPT, un critère majeur est tenu en compte, le nombre de rides entre l'anus et le funestre vulvaire observé sous microscope, en moyenne pour *G. rostochiensis* il y'a 20 rides et pour *G. pallida* 12 rides (Greco, 1988)

**Tableau 2** : Évaluation des critères morphométriques de *G. pallia* et *G. rostochiensis*

Critères morphologiques	<i>G. pallida</i>		<i>G. rostochiensis</i>	
Longueur du corps (L)	/	452-486	/	392-468
Largeur du corps(W)	/	/	/	/
Longueur du cou	/	/	/	/
Nombre de rides entre l'anus et le funestre	8-20(<14)	12-17	12-31(>14)	17-20
Référence	1	2	1	2

Source:(1): Fleming et Powers(1998); (2):EPPO (2013) (45)

## 5. Importance économique :

Le NKPT est classé dans la liste de quarantaine A2 dans plus de 100 pays (Niere et Kanuri, 2018) dû à leurs modes de survie en kyste qui peut persister dans le sol plusieurs années voire une vingtaine d'années, ce qui rend les stratégies de lutte contre ce parasite très délicates

L'étendue des dégâts sur les plantes hôtes causé par NKPT sont généralement affecter par plusieurs facteurs dont :

- La densité des populations de NKPT dans le sol
- Taux de résistance des cultivars de pomme de terre
- Les pratiques agricoles en raison du mouvement très réduit des juvéniles stade 2 qui est à 1 mètre dans le sol, leurs propagations se fait de manière passive via les résidus de récoltes, les machines contaminées par les kystes, les semences infectés et eau d'irrigation
- Les conditions environnementales

Les dégâts engendrés par NKPT sur les plantes hôtes varient selon les régions causant d'énorme pertes de rendement qui selon la densité initiale des populations du NKPT peuvent aller de 20 à 70% (Greco, 1988), et si une mono culture est pratiqué des pertes peuvent atteindre jusqu'à 80% (CABI et OEPP, 1990)

Un calcul basé sur une série de données indique que, rien qu'au Royaume-Uni, les coûts dus au NKPT peuvent atteindre en moyenne 31 millions de livres sterling par an en ce qui concerne les pertes de rendement et les coûts de gestion. Ce chiffre ne tient pas compte des pertes subies en raison de cultures alternatives moins rentables ou de l'impossibilité d'utiliser des terres infestées pour la production de pommes de terre de semence ; il est donc probablement une sous-estimation de l'impact économique du nématode à kystes (Price, 2021).

## 6. Statut réglementaire

*G. rostochiensis* et *G. pallida* sont réglementés dans l'UE. Ils figurent dans la directive 2000/29/CE du Conseil, annexe I, partie A, section II, en tant qu'organismes nuisibles dont l'existence est connue dans la communauté et qui présentent un intérêt pour l'ensemble de la communauté, dont l'introduction et la propagation dans tous les états membres sont interdites.

*G. pallida*, mais pas *G. rostochiensis*, figure également à l'annexe I, partie B, de la même directive du conseil en tant qu'organisme nuisible dont l'introduction et la propagation dans certaines zones protégées de l'UE sont interdites. Sur la base de ces listes, des interdictions d'importation pour l'ensemble de l'UE ont été formulées pour des produits spécifiques (2000/29/CE, annexe III) et des exigences spéciales ont été formulées pour des produits spécifiques en ce qui concerne l'introduction et la circulation dans tous les états membres de l'UE (2000/29/CE, annexe IV, partie A) et dans les zones protégées spécifiées (annexe IV, partie B). (EFSA, 2012)

## **7. Morphologie :**

### **7.1. Œufs :**

Les œufs embryonnés de *G. sp* contiennent les J2 plié en 4 fois, qui sont doté d'une coquille hyaline lisse avec aucune microvillosité a la surface retenue dans le corps de la femelle qui se transforme en un kyste suite a sa mort (Friedman, 1985 et Stone, 1972).

Les œufs enkystés, qui contiennent les juvéniles, sont remplis d'une solution sucrée (tréhalose) qui permet au nématode de survivre à des froids extrêmes

Mesures des œufs de *G. pallida* : longueur :  $108.3 \pm 20 \mu\text{m}$  × largeur :  $43.2 \pm 3.2 \mu\text{m}$  (CABI, 2013)

Mesures des œufs de *G. rostochiensis* : longueur  $101-104 \mu\text{m}$  × largeur  $46-48 \mu\text{m}$

### **7.2. Stade J2 :**

Les J1 sont contenu dans les œufs et donc la 1<sup>ère</sup> mue aura lieu a l'intérieure de l'œuf. Les J2 vont émerger de l'œuf, doté d'une structure vermiforme, les J2 sont mobile qui a l'intérieur des racines vont devenir sédentaire et gonflé. Mesurant environ  $47 \mu\text{m}$  de long, ils ont la particularité d'être doté d'un stylet solide et creux au niveau buccal pour s'alimenter et d'une tête arrondie et d'une queue pointue

Au niveau de la région médiane du juvénile, le champ latéral porte 4 incisives qui a l'extrémité antérieure et au terminus de la queue se limite à 3 incisives. (CABI, 2020)

Discrètement décalée, la tête abrite 4 à 6 anneaux avec un squelette qui est bien développé et de forme hexaéradiée. Le cône prend 45% de la longueur total ayant une particularité de diagnostic considérable, les boutons du stylet sont généralement penchés vers l'arrière. Le bulbe médian a une forme elliptique possédant une grande valve centrale, les glandes œsophagiennes couvre environ 35% de la longueur du corps (CABI, 2020).

Organe génitale à 4 cellules, au milieu de la queue des phasmides qui sont généralement difficile à voir, la queue se rétrécit a l'extrémité (Friedman, 1985 et Stone, 1972 et Skantar, 2007)

### **7.3. J3 et J4 :**

Ces stades se développent dans les racines, sédentaires et gonflés (CFIA, 2012). Bien que les NKPT se reproduisent sexuellement, le sexe du nématode n'est pas déterminé génétiquement mais est plutôt une réponse à des stimuli externes (Trudgill, D et al. 1998)

### **7.4. Femelles :**

Ayant une forme enflée, les femelles font saillis à la surface des racines (Mackesy, 2014). Leurs têtes sont composées de 1 ou 2 anneaux munis de cadre céphalique peu développé et un stylet avec des boutons arrondies, le bulbe médian est large doté d'une grande valve. Les glandes œsophagiennes sont étendues et déplacées vers l'avant par les ovaires. Vulve située a l'opposé du cou, anus petit a angle droit avec la fente vulvaire, cuticule réticulée avec des ponctuations sous cutanées (Friedman, 1985 et Stone, 1972 et Skantar, 2007 et Subbotin, 2010)

#### 7.4.1. *Globodera pallida* :

Caractérisé par une cuticule blanche ou crème qui après la mort de la femelle se teint en brun. Doté d'un corps subsphérique avec un diamètre de 400-500µm, nombre de rides cuticulaires entre l'anus et la vulve =  $12.5 \pm 3.1 \mu\text{m}$ , avec un stylet de longueur  $27.4 \pm 1 \mu\text{m}$  (Mackesy et al. 2014)

#### 7.4.2. *Globodera rostochiensis* :

Couleur de la cuticule initialement blanc qui vire au jaune doré a maturité, diamètre d'environ 500µm sans cône, presque d'une fine couche sous cristalline au niveau de la cuticule, nombre de rides entre l'anus et la vulve=  $23 \pm 3.0$ , avec un stylet d'une longueur de  $23 \pm 1 \mu\text{m}$

### 7.5. Kyste :

Après la mort de la femelle, sa cuticule durcie et elle prend une couleur plus foncée (brun foncé), agissant comme un sac protecteur protégeant les œufs embryonnés

Chez les jeunes kystes on peut remarquer un bassin vulvaire net et intact contrairement aux anciens kystes qui sont dans le sol et qui ont perdu les traces de leurs organes génitaux

*Globodera pallida* : diamètre =  $534 \pm 66 \mu\text{m}$ , longueur sans le cou=  $579 \pm 70 \mu\text{m}$ , longueur du cou=  $188 \pm 20 \mu\text{m}$ , diamètre du funestre=  $24.5 \pm 5.0 \mu\text{m}$ , distance anus-funestre=  $50 \pm 13.4 \mu\text{m}$ , le ratio de Granek=  $2.2 \pm 1.0$  (Granek, 1955)

*Globodera rostochiensis* : diamètre=  $382 \pm 60 \mu\text{m}$ , longueur sans cou=  $445 \pm 50 \mu\text{m}$ , longueur du cou=  $104 \pm 19 \mu\text{m}$ , diamètre du funestre =  $19.0 \pm 2.0 \mu\text{m}$ , distance anus-funestre=  $66.5 \pm 10.3 \mu\text{m}$ , ration de Granek=  $3.6 \pm 0.8$  (Granek, 1955)

### 7.6.Males :

Comme les juvéniles, les males sont vermiforme (1200µm de long) et mobile dans le sol, doté d'une tête arrondie déplacée avec 6 a 7 anneaux, annulation cuticulaire apparente, champ latéral présentant 4 incisives (Friedman, 1985 et Stone, 1972), pourvue d'un stylet fort et d'un seul testicule qui s'étend sur environ 60% de la longueur du corps et de spicules a bouts pointus et arqués, certain chercheurs ont séparé les espèces de *G.pallida* et *G.rostochiensis* en utilisant des mesures de spicules (Behrens et al. 1975)

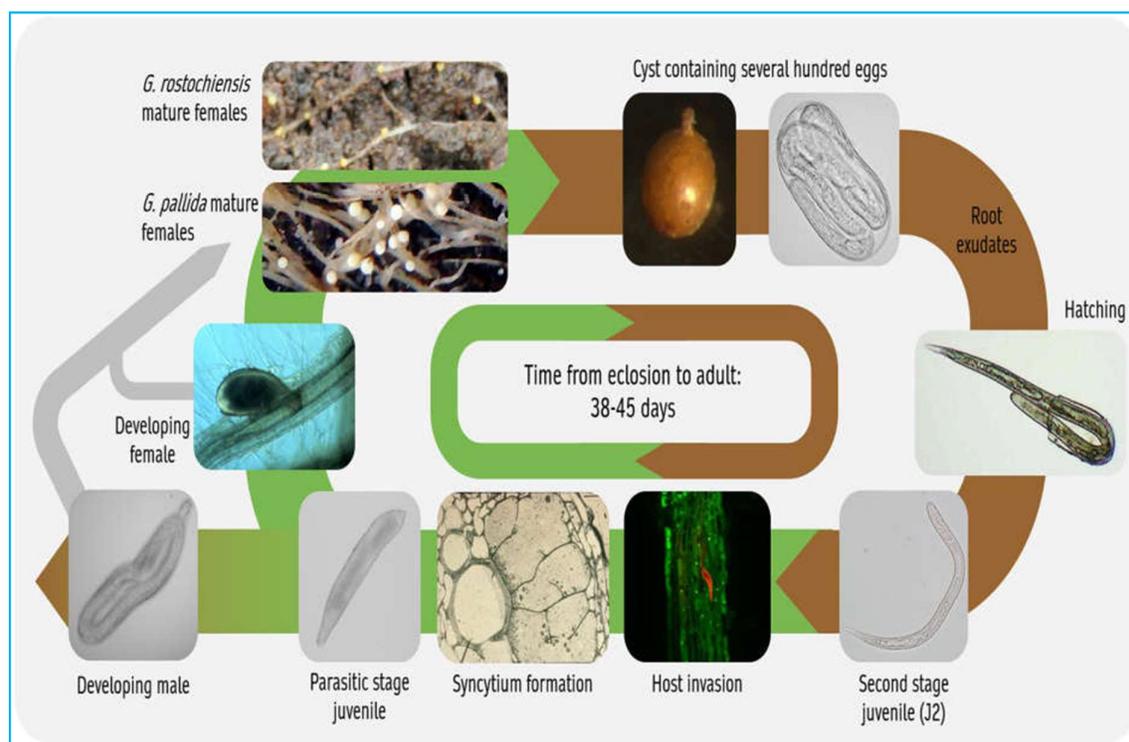
## 8. Cycle biologique :

D'après Rebbby 1983, le cycle biologique des nématodes phytoparasitaires est assez basique, comprenant 5 stades dont 4 mues successives.

Etudié généralement sur *G. rostochiensis*, le cycle de développement du NKPT est influencé par le taux d'humidité et le degré de température. Se multipliant sexuellement (Ouden, et al. 1960) le nombre de génération dépend du nombre de culture et l'étendue de la saison de la plante hôte (Greco, 1988)

La sortie des L2 des kystes (la première mue se fait au sein des œufs à l'intérieur du kyste) est stimulée par les exsudats radiculaires diffusés par la plante hôte (Mugniery et Fayet, 1984), une absorption d'eau (Ellenby et Perry, 1976) et d'oxygène survient au sein des œufs.

Ce qui entraîne une baisse de la charge énergétique ce qui indique un effet sur le métabolisme de la larve (Atkinson et Ballantyne, 1977), la larve bouge et perce sa membrane avec son stylet pour se libérer (Doncaster et Seymour, 1973)



**Figure3** : Principales étapes du cycle de vie du nématode à kystes de la pomme de terre (NKPT) *Globodera pallida* et *G. rostochiensis*. Les femelles de *G. pallida* sont blanches, tandis que celles de *G. rostochiensis* sont jaunes. (2021)

Une fois libéré dans le sol, les larves entament leur quête pour des radicelles d'un hôte adéquat pour les pénétrer (Moxnes et Hausken, 2007), une fois à l'intérieur généralement dans la zone du cortex (Fudali et Golinowski, 2007) les L2 injecte dans une cellule des protéines salivaires issue des glandes œsophagiennes ce qui va causer l'élargissement de celle-ci et l'incorporation de nouvelles cellules par la dissolution des parois cellulaires (Vieira, 2011 et Fudali et Golinowski, 2007 et Turner et Evans, 1998 et Wyss, 1992) ce qui va entraîner la modification de l'expression de leur génome (Cabrera, 2006), et provoquant ainsi la création de site de nutrition appelé cellules géantes ou syncytium qui sera métaboliquement actif tout le long du développement de la larve (Fudali et Golinowski, 2007) par une reprogrammation du processus de développement des cellules des radicelles (Swiecicka et al. 2009)

Une fois sédentaire, la J2 passe par différents stades de développement J3-J4 et adulte (Male/femelle) pendant 20 jours avec une température de 20°C (Moxnes et Hausken, 2007)

Selon Mugniery 1982, le sexe des larves de *G. rostochiensis* et *G. pallida* est dépend des conditions du milieu, arrivé au stade adulte, le male mobile émerge de la racine en se dirigeant vers le sol à la recherche de femelle à féconder et peuvent survivent dans le sol sans

se nourrir jusqu'à 10 jours (Evans et Stone, 1977) les femelles adultes gonflent et font saillie a la surface des racines en éclatant les parois de celle-ci (Motiul, 2010)

### **8.1. Diapause :**

Pour assurer les chances d'une invasion réussite du nématode au sein de la plante hôte, les juvéniles non éclos passent par une période où l'activité est réduite voir stoppé devisé en phase de diapause en raison de facteurs endogènes ou en raison de facteurs environnementaux défavorable et passe par une phase de dormance (quiescence) (Evans et al. 1976)

La phase de diapause n'a été reconnu que récemment chez *Globodera rostochiensis* (Evans et al. 1976 et Muhammad Z, 1990) et *Globodera pallida* (Muhammad Z, 1990)

Cette phase sera interrompue quand toutes les conditions seront adéquates pour l'éclosion. Le principal stimulus pour l'éclosion est la sécrétion des exsudats radiculaires par la plante hôte (Perry, 1989) et seul un taux faible des œufs répondent au stimulus et éclosent (Gonzalez et Phillips, 1996)

Les NKPT passe par deux diapauses durant leurs cycles ; un est déclenché après la formation du kyste et qui est obligatoire, et une facultative se manifestant pendant la formation des populations (Salazar et Ritter, 1993)

### **8.2. Éclosion :**

Le processus d'éclosion des juvéniles des kystes de *G. pallida* diffère de celui de *G. rostochiensis*, chez *G. pallida* le facteur principal est les exsudats racinaires de la plante hôte ainsi leurs cycles de vie sont synchronisés, tandis que pour *G. rostochiensis* plusieurs facteurs peuvent provoquer l'éclosion (Den Nijs et Lock, 1992)

Une recherche mené par Ryan et Devine en 2005, a démontré que même en l'absence de plante hôte l'éclosion des kystes se fait d'un taux de 37%, appelé une éclosion spontané, et ceci aurait une relation avec les conditions environnementales (la température principalement en été) et la présence de pathogènes qui vont contribuer a la baisse naturel du taux du potentiel infectieux des kystes, d'ailleurs certain bactéries ont un effet sur l'éclosion du NKPT (Ryan et Jones, 2004) et certain mycorhize sur *G.p.* En France la mortalité due aux hautes températures dans le pourtour méditerranéen est plus élevée que celle dans le nord de la France, on enregistre un taux de 30% contre 10% (Ouden, 1960 et Turner, 1996)

Appartenant au même genre et en partageant le même habitat, les deux espèces de *Globodera* peuvent être différente dont quelques aspects de leurs survies, d'après Robinson et al 1987, *G. p* possède un taux d'éclosion initial très lent avec des températures variantes entre 10 et 20°C (Salazar et Ritter, 1993), tandis que chez *G. r* cette dernière a des déclencheurs d'éclosion non spécifiques (Den Nijset Lock, 1992) ou l'éclosion est optimale entre 15 et 20°C (Salazaret Ritter, 1993)

## **9. Mode de dissémination des nématodes phytoparasitaires :**

Les nématodes qui sont transportés passivement, le vecteur est un facteur important, car leur survie dépend du lieu de dépôt. La colonisation ultérieure d'un espace se ferait soit parce

que le milieu est ou leur est devenu favorable, soit par suite d'une adaptation de certains individus a un environnement nouveau (Sadek, 1977 ; Cadet et al, 1994). De par leur petite taille, les nématodes peuvent être transportés passivement par plusieurs vecteurs (Sadek, 1977).

Selon Sadek, 1977, le déplacement des nématodes phytoparasites est limité a de courtes distances. Il est étonnant que les populations de nématodes soient si répandues à travers le monde à ce rythme, le même auteur avance que de par leurs petites tailles, les nématodes peuvent être transportés passivement par plusieurs vecteurs :

- Viale matériel de plantation et les tubercules, l'homme dissémine à son insu ce nématode.
- Via le sol transporté par les outils, une étude menée en 2002 par Morgan et al, sur le *Pratylenchus penetrans* démontre que le nématode serait disséminé à l'intérieur d'une même parcelle par les outils de labours, mais pas par les outils de récolte.
- Les machines ; Les machines sont la principale cause de redistribution des kystes dans les champs d'un agriculteur, entre les champs d'un même agriculteur et d'une exploitation à l'autre, en particulier lorsqu'une partie des travaux agricoles est effectuée par des travailleurs sous contrat utilisant leurs propres machines. D'énormes quantités de terre peuvent adhérer aux machines et être redistribuées.
- Le fumier ; Les kystes peuvent également atteindre le champ par le biais du fumier. Ce risque existe lorsque le bétail est nourri avec des pommes de terre.
- Direction de la culture. Comme les infestations sont redistribuées par les machines, la direction principale de dispersion dans le champ est la direction de la culture. Les infestations secondaires se produisent principalement dans la même direction que les infestations primaires. Le changement de direction de la culture entraîne des infestations secondaires perpendiculaires à la direction initiale de la culture et conduit à une propagation plus rapide du nématode à kyste sur l'ensemble du champ.
- Par le vent, Selon Carroll et Vigliercho (1981), la propagation des nématodes par le vent requiert des conditions climatiques spécifiques (vents violents sur des sols découverts) et la capacité du nématode à supporter des conditions de sécheresse extrêmement défavorables. Dans la réalité, ces conditions nécessitent une activité de vie ralentie (quiescence ou diapause), cas des nématodes à kystes.
- Par les eaux, une étude menée par Thomson et al, 1949 a mis en évidence la présence de kyste de, *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) et d'*Heterodera major* (Schmidt) dans des terres nouvellement mises en culture et situées à plusieurs kilomètres de terres infestées, et ce après que des chutes de neige avaient provoqué des inondations exceptionnelles au printemps, des kystes dans les alluvions issues de l'inondation. Cependant les kystes retrouvés étaient peu viables, selon les mêmes auteurs les kystes récemment formés ont une faible flottabilité et ne se dissémineraient sur de longues distances qu'en faible quantité

## 10. Symptômes et dégâts :

Pour les nématodes à kyste, leurs symptômes ne sont pas très spécifiques ni suffisant pour un bon diagnostic, une analyse nématologique est donc obligatoire. Les symptômes qu'on peut observer sont: des taches ovales dans le sens du travail du sol ou la croissance est réduite, chlorose au niveau du feuillage, végétation chétive ou nanifiée, avec dans certains cas des déformations foliaires, un système racinaire fourchus, couvert de kyste (blanc pour *G.p* et jaune pour *G.r* ou brun si les kystes sont anciens), et une réduction de la taille de tubercules, ainsi que la détérioration de la qualité des tubercules due aux piqûres de nématodes sur leur surface (CABI et l'OEPP)

Tout ces dommages vont offrir des portes d'entrées a d'autres pathogènes (bactéries et champignon) qui vont contribuer à la dégradation de la végétation causant parfois la mort des plantes (Schneider et Mugniery, 1971)

Suite a ces dégâts, le poids des pertes de rendement s'alourdie atteignant parfois 70%, ce qui pousse les agriculteurs à dédommager cet effet par la fertilisation azoté excessive, d'où le risque de résidus sur les tubercules (Duvauchelle, 2013)

## 11. Spectre d'hôte :

Le NKPT, un parasite obligatoire essentiellement inféoder aux solanacées, principalement la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), suivie de la tomate (*Lycopersicon exulentum*) et de l'aubergine (*Solanum melogena*). (EFSA, 2012)

90 espèces appartenant au genre *Solanum* pourrait être des hôtes du NKPT, parmi eux des plantes sauvages ou adventices qui serve de foyer d'infestation, contribuant ainsi a l'augmentation des niveaux de population dans le sol, on cite la douce amère (*Solanum dulcamara*), la morelle noire (*Solanum nigrum*) et la jusquiame (*Hysagamus niger*) (Schneider et Mugniery, 1971)

Selon Rousselle et al 1996, les exsudats racinaires de chaque plante seraient responsables du taux d'éclosion, avec la pomme de terre l'éclosion est de 80% a 90% comparé a celle de l'aubergine qui est de l'ordre de 5%.

## 12. Facteurs influençant sur le développement du nématode à kyste de la pomme de terre :

### 12.1. Facteurs climatiques :

En général, plus ceux sont défavorable au végétal, plus les dommages dus aux nématodes sont graves (Mugniery, 1976)

### **12.1.1. Température :**

La température joue un rôle primordial dans la régulation du métabolisme des nématode phytoparasite affectant ainsi la dynamique des populations de ces derniers (Kaczmarek et al., 2014).

Les exigences thermiques varient selon l'espèce du nématode, *Globodera rostochiensis* peut survivre à des températures plus élevées que *Globodera pallida* (24°C) et *G. pallida* à des températures plus basses que *G. rostochiensis* (9.5°C) (Mugniery, 1976) agissant ainsi sur l'éclosion des œufs, la reproduction, leur croissance et survie (Jatala, 1987)

### **12.1.2. Humidité :**

Les nématodes sont des organismes aquatiques nécessitant un film d'eau dans le sol pour se déplacer et parasiter la plante par la pénétration des J2 (Meagher, 1970 et Caubel et al., 1980), en l'absence de ce film d'eau les nématodes meurent par déshydratation ou s'enkyste pour survivre plus longtemps dans le sol alors que l'excès d'eau induit une baisse de l'aération du sol causant ainsi une asphyxie du parasite, ce qui en résultent la multiplication de certain micro organismes (Cayrol et al., 1975)

La dynamique des populations de nématode est principalement liée aux variations d'humidité du sol due aux précipitations ou a l'irrigation (Janvier, 1972)

## **12.2. Facteurs édaphiques :**

Les facteurs édaphiques ont un rôle primordial dans la distribution et l'établissement des populations de nématodes (Norton, 1989)

### **12.2.1. Type de sol :**

D'après Caubel et al 1980, les nématodes à kyste sont présents dans tous les sols, par contre leurs attaques varient selon la texture et la structure du sol déterminant ainsi le nombre et le type de nématode (Trigiano, 2004),

Gair et al 1969, déclare que les sols ayant une structure non adaptée aux nématodes sont reconnues suite au déclin de la population des nématodes après l'établissement initiale

### **12.2.2. Porosité :**

La porosité joue un rôle très important dans l'activité des nématodes vers leurs plantes hôtes, de la taille des particules du sol et de l'épaisseur de la pellicule d'eau en présence (Janvier, 1972)

Selon Schneider et Mugniery 1971, les larves auront des difficultés de se mouvoir vers les racines dans le sol ou les pores sont petits de taille et nombreux

### **12.2.3. Oxygène :**

L'éclosion et la migration des larves dépend partiellement de la quantité d'O<sub>2</sub> disponible dans le sol, plus celle-ci est élevée plus l'activité des larves est plus rapide (Schneider et

Mugniery, 1971), en effet dans un sol mal aéré et dense, la survie des nématodes et leur population est réduite (Janvier, 1972)

#### **12.2.4. PH :**

Selon Graham 1980 et Norton 1989, les facteurs physico-chimiques du sol peuvent affecter la mobilité et la reproduction du nématode. Préférant les sols a pH neutre, les nématodes a kyste ont du mal a éclore dans les sols a pH acide (pH=4), ou dans les sols a pH alcalin (pH=8).

### **12.3. Facteurs biotiques :**

#### **12.3.1. Plante hôte :**

Le NKPT a une spécificité restreinte aux *Solanacées*, principalement la pomme de terre « *Solanum tuberosum* » due aux exsudats radiculaires de celle-ci induisant une éclosion rapide des J2, le degré d'éclosion diffère d'une espèce de NKPT a une autre (l'éclosion est plus importante chez *G. r que* celle de *G.p*). (Yepsen, 1984)

#### **12.3.2. Matière organique :**

D'après Jone R.K 2017, la décomposition de la matière organique dans le sol libère certains produits toxiques qui nuisent au développement des nématodes tel que l'acide butyrique.

#### **12.3.3. Monoculture :**

Une culture intensive favorise souvent la pullulation du parasite, selon Mugniery 1982, la solution réside dans l'application d'une rotation en mettant en place des cultures non hôte ce qui va réduire la dynamique des populations de NKPT.

## **13. Méthode de lutte :**

### **13.1.Méthodes culturales :**

En période de préculture, s'assurer que le champ est indemne, ainsi qu'une décontamination de l'outil agricole entre les différentes parcelles est importante pour éviter l'infestation des zones indemnes, utilisation de plantes certifiées et refoulement de tout végétal ou semences contaminées et un suivi de l'état sanitaire des parcelles par l'établissement d'une analyse nématologique au laboratoire en prélevant du sol et des plantes du champ

Les stratégies culturales tentent de limiter l'impact du NKPT en améliorant les pratiques agricoles. Les méthodes de lutte culturale doivent faire l'objet d'un suivi très attentif et comme elles sont rarement efficaces à 100 % et peuvent être coûteuses, une bonne hygiène agricole, y compris le nettoyage de l'équipement et des machines, contribuera à minimiser la propagation entre les champs

#### **13.1.1. Désherbage :**

Considéré comme l'une des pratiques clé pour une bonne lutte, en détruisant les repousses de pomme de terre et des plantes adventices qui sont des foyers d'infestation, la baisse des populations du NKPT dans le sol sera garantie (Duvauchelle, 2013)

#### **13.1.2. Jachère :**

Reddy, 1986, considère cette méthode comme un moyen d'appauvrir le nématode en ôtant ses plantes hôtes de la parcelle, D'après Rivoal et al 1983, dans certain cas au bout d'une année de jachère, on constate une réduction de 50%

#### **13.1.3. Rotation :**

La rotation des cultures est l'une des approches les plus anciennes et les plus importantes pour lutter contre les nématodes qui se nourrissent des racines des plantes cultivées annuelles.

Pour une diminution rapide des populations de NKPT, l'allongement des rotations entre les cultures de pommes de terre est primordial afin d'exploiter le déclin naturel des populations de NKPT en l'absence d'hôte, un intervalle de 6 à 12 ans entre les pommes de terre est essentiel afin de minimiser les dommages aux cultures (Trudgill, 1987).

Comme Mugniery, (1982) l'a soutenu, chaque population de nématodes peut être considérée comme un écotype différent, par conséquent, les systèmes de rotation des cultures doivent être examinés localement dans chaque lieu de culture avant qu'une bonne pratique agricole puisse être proposée.

Un système de rotation doit être choisi de manière à ce qu'une culture ne provoque pas une population de nématodes supérieure au seuil de densité économique de la culture suivante dans le système (Nusbaum et Howard,1973)

#### **13.1.4. Plante piège :**

D'après Guy Belair, (2005) cette technique est basée sur la mise d'une culture hôte du NKPT et de la détruire avant la fin du cycle du parasite, aboutissant à l'infertilité des œufs induisant l'éclosion sans formation de nouveaux kystes.

La morelle noire est considérée comme un excellent choix de plante piège, en effet par la sécrétion de ces exsudats racinaires, elle provoque l'éclosion des NKPT mais elle ne permet pas aux juvéniles de s'établir dans son système racinaire pour compléter leur cycle (Guy Belair, 2005)

#### **13.1.5. Amendements et engrais :**

Les amendements organiques ont souvent été proposés comme moyen de lutte contre les nématodes phytoparasites (Oka, 2010 et El Gharras, 2011).

L'utilisation de la fumure organique permet à la fois une réduction significative de la population de nématodes et une augmentation de la productivité (Bissadou, 2011 et Rodriguez, 1987).

Une multitude de matières organiques ont été testées dans une variété de paramètres environnementaux. Des apports de chitine (McSorley, 1996), d'engrais verts (Oka, 2010) ou de composts (Akhtar et Malik, 2000) ont montré un contrôle efficace des nématodes phytoparasites.

Selon Akhtar et Malik 2000, les ajouts de sol organique sont capables d'améliorer l'activité des micro-organismes démontrant des effets antagonistes contre les nématodes phytoparasites.

#### **13.1.6. Variétés résistantes :**

Les plantes ont développé un mécanisme défensif composé d'un ensemble diversifié de gènes de résistance afin de se protéger.

Les approches de contrôle les plus prometteuses reposent sur l'adoption de cultivars résistants qui sont suffisamment efficaces et peuvent offrir un contrôle à long terme des populations de nématodes (Caromel et al, 2005).

L'utilisation de la résistance naturelle de l'hôte a jusqu'à présent constitué l'outil le plus efficace pour lutter contre le NKPT, en particulier *G. rostochiensis*. L'hétérogénéité génétique restreinte du *G. rostochiensis* présent en Europe signifie qu'une résistance durable a été fournie contre cette espèce en Europe avec des cultivars contenant le gène H1.

Le *G. pallida* présent en Europe est plus diversifié génétiquement et l'identification d'un seul gène majeur de résistance (R) pour lutter contre cette espèce a donc été plus difficile (Van der Voort et al, 1997 et Van der Vossen et al, 2000 et Horrigue-Raouani et B'Chir MM, 1998).

En nématologie, une plante est dite résistante aux nématodes à kystes lorsqu'elle réduit significativement ou totalement le nombre de femelles générées par rapport à un témoin non résistant (Caromel et al, 2005).

L'arrêté du 28 juin 2010 concernant les nématodes à kyste permet d'utiliser des variétés résistantes dans un champ contaminé par ces derniers, après une période d'absence de pomme de terre de 3ans, sous condition que l'analyse nématologique soit négative. Dans ce contexte, la variété doit posséder une note minimale de résistance de 7, cette note étant acquise suite aux tests de résistance conformément au protocole imposé par la directive européenne 2007/33/CE (Anses, 2016)

Si l'utilisation des résistances naturelles semble être la technique la plus séduisante, notamment parce qu'elle est plus respectueuse de l'environnement et moins coûteuse que l'utilisation des nématicides, elle présente plusieurs limites dans l'état actuel des connaissances.

### **13.2. Méthodes physiques :**

La solarisation du sol (SS), qui repose sur l'utilisation de la chaleur thermique, une source d'énergie durable, connaît une demande croissante depuis de nombreuses décennies . Cette stratégie de contrôle physique peut être une option attrayante pour la gestion des nématodes et la réduction de l'infestation du sol. (Greco et al, 2000 et El Hajji et Horrigue-Raouani, 2012), Pour la gestion des nématodes phytoparasites, la SS est une option intrigante et écologique (El Hajji et Horrigue-Raouani, 2012).

Ces approches, qui nécessitent un équipement important, complexe et coûteux, ne peuvent être utilisées que sur de petites surfaces (pépinière et serres). (James, 2020)

### **13.3. Méthode chimique :**

L'utilisation de substances chimiques est actuellement la méthode de lutte la plus utilisée. L'application de nématicides synthétiques protège le rendement mais entraîne des coûts supplémentaires importants pour les producteurs. En outre, le moment de l'application doit être calculé avec soin pour qu'ils soient efficaces (Baujard et Martiny, 1995)

L'utilisation d'insecticides, en particulier les nématicides fumiganst, peut entraîner la réduction, voire l'éradication, des populations de nématodes phytoparasites dans le sol. Elle peut également provoquer des augmentations importantes du rendement des cultures pluviales, c

ependant, il n'y a pas de relation cohérente entre ces deux effets (Hague et Gowen, 1987).

En effet, les augmentations de rendement dues aux nématicides varient dans le temps et dans l'espace, car l'effet indirect de ces produits sur les rendements agricoles varie selon la localisation des expérimentations et / ou le type de sol. (Duvauchelle, 2013)

La gestion de ce ravageur a été principalement accomplie par l'utilisation de nématicides chimiques, de fumigeant et d'organophosphates et de carbamates non fumigant, qui sont administrés directement au sol lors de la plantation et utilisés pendant de nombreuses années (Seenivasan et al, 2007).

De nombreux nématicides chimiques précédemment utilisés contre le NKPT ont également été retirés du marché en raison de leurs effets néfastes potentiels sur l'environnement et la santé humaine (Turner et Subbotin, 2006).

Une substance nématostatique limite l'attaque des racines en perturbant l'activité et les mouvements des larves et en bloquant l'alimentation ; l'effet sur la réduction des populations de kystes n'est pas total. Vydate 10G, de Dupont solutions (10 % d'oxamyl), s'applique à raison de 20 kg/ha dans la raie de plantation, avec un micro granulateur délivrant un dosage précis. Nemathorin 10G, de syngenta Agro (10 % de fosthiazate), s'applique à 30 kg/ha en plein avant plantation avec incorporation

L'utilisation des nématicides est de plus en plus controversée pour des raisons économiques et environnementales. Les nématicides sont déconseillés d'un point de vue environnemental car ils détruisent la faune tellurique, créant un vide écologique.

Les produits employés se présentent :

- Soit sous forme de poudres ou de granulés qui sont incorporés au sol.
- Soit sous forme de liquides se vaporisant au moins partiellement à la température ordinaire, ce sont les fumigants.
- Soit sous forme de liquides miscibles ou émulsifiables dans l'eau

#### **13.4. Lutte biologique :**

La lutte biologique connaît un regain d'intérêt, et l'incorporation d'agents de lutte biologique dans le système de culture de la pomme de terre améliorera l'efficacité de la gestion des NKPT, qui peut également être utilisée dans le cadre de la gestion intégrée des nématodes.

De nombreux micro-organismes ont montré une activité potentielle de lutte biologique contre les nématodes phytoparasites, en utilisant une variété de mécanismes d'action. Tel que les champignons du sol ; prédateurs ou parasites des nématodes et certaines bactéries (Caromel et al, 2005)

En Inde, une variété d'agents de lutte biologique, y compris la rhizo-bactérie *Pseudomonas fluorescens* qui stimule la croissance des plantes, le champignon antagoniste *Trichoderma viride* et le champignon parasite des œufs *Paecilomyces lilacinus*, ont été étudiés comme agents de lutte biologique contre le NKPT (Racke et Sikora, 1992)

Lors d'essais en serre et sur le terrain, il a été démontré que deux souches bactériennes, *Agrobacterium radiobaeter* et *Bacillus sphaericus*, inhibent la pénétration du nématode à kyste de la pomme de terre *G. pallida* jusqu'à 30 % - 40 %. (Aballay, 2012).

Plusieurs voies d'action potentielles de ces bactéries ont été mises en évidence. Ils comprennent des impacts directs sur l'éclosion des œufs et la motilité des nématodes, ainsi que des effets indirects tels que la modification de l'exsudat racinaire et la résistance induite, ce qui rend les racines moins attrayantes (Van der Putten et al, 2006).

Les champignons qui capturent les nématodes, tels que les espèces *Arthrobotrys*, peuvent construire des structures mycéliennes qui tuent les vers, mais d'autres champignons, tels que *Paecilomyces spp.*, peuvent pénétrer et détruire les œufs, les femelles ou les kystes (Blanchard, 2006).

Ces méthodes sont difficilement utilisables sur le terrain du fait de la présence d'antagonistes potentiels dans l'environnement, même si elles apparaissent parfois efficaces en laboratoire et sous serre (Chabert et al, 2012).

### **13.5. Lutte intégrée :**

L'intégration de différentes méthodes de lutte préventives ou curatives, soit biologique, mécanique, culturale, génétique et chimique, assure une réduction des populations d'organismes nuisibles de façon efficace et économique, tout en respectant l'environnement en contribuant à la diminution des risques associés à l'emploi exclusif des pesticides chimiques

La stratégie la plus rentable et la plus efficace est l'utilisation de la résistance naturelle de l'hôte, qui, en combinaison avec d'autres techniques telles que les méthodes chimiques et culturales, est particulièrement recommandée dans le cadre d'un système de lutte intégrée contre les ravageurs. (Baujard et Martiny, 1995).

Face à la complexité des enjeux que posent le nématode doré de la pomme de terre, des systèmes de lutte intégrée peuvent être proposés prenant en compte les spécificités de chaque région ainsi que les caractéristiques biologiques de l'espèce responsable.

Désormais, de nouvelles approches de lutte contre les nématodes à kystes de la pomme de terre sont mises au point, principalement en utilisant des produits biologiques et des variétés durables. En raison de la résistance partielle de certains cultivars de pomme de terre au *Globodera pallida*, ces dernières suscitent un véritable débat. Dans cette optique, les chercheurs soulignent l'importance de combiner différentes approches de lutte pour maîtriser et limiter les pertes considérables causées par ces parasites.

# **PARTIEII :**

# **ANALYSE EXPERIMENTALE**

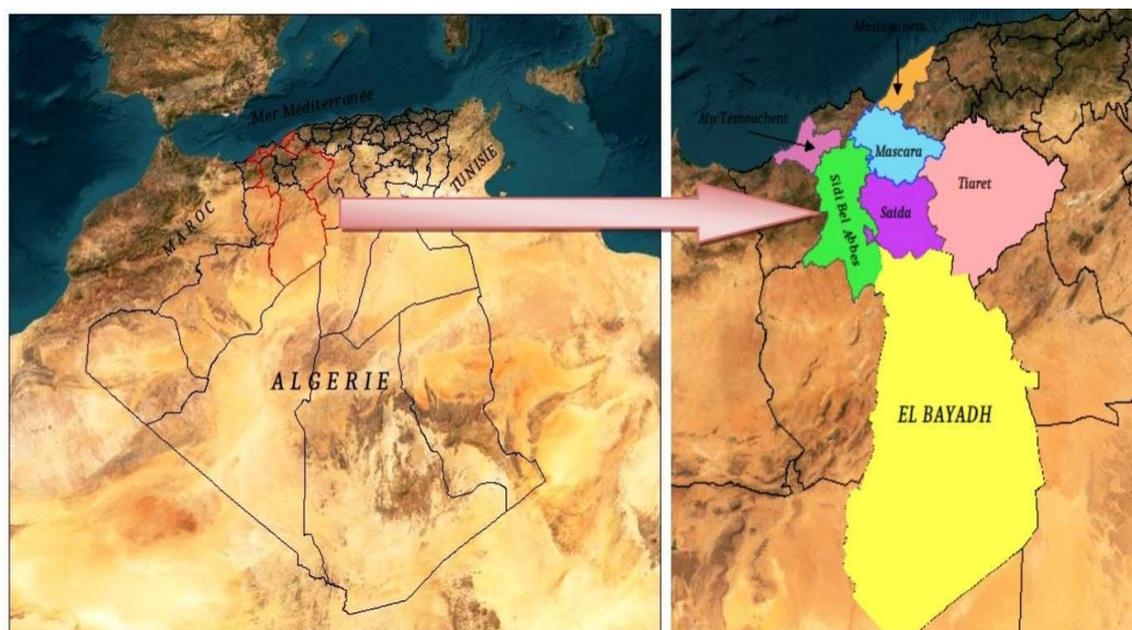
## CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

### 1. Introduction

Notre étude a été réalisée dans la région Ouest de l'Algérie, permettant ainsi de prospecter les parcelles de pomme de terre de sept wilayas en l'occurrence la wilaya de Mascara, Sidi Bel abbés, Témouchent, Mostaganem, Saïda, Tiaret et El-Bayadh. Ces régions sont connues par leurs vocations de pomme de terre. (Figure 5)

Au niveau de chaque localité, des visites régulières ont été effectuées dans diverses parcelles représentatives de la pomme de terre situées dans différentes localités productrices à raison de 10 à 48 parcelles par localité.

Quant à la sélection des parcelles, elle a été réalisée en fonction de la culture en place. On a pris en compte les parcelles de production de la pomme de terre de consommation.



**Figure4** : Localisation des sites d'étude (Originale).

La région d'étude s'étend sur le littoral ouest. Elle est bordée au nord par la mer Méditerranée ; au sud-ouest par le Sahara algérien et, à l'ouest par le Maroc. Du point de vue topographique, cette région se compose de quatre principaux ensembles de reliefs, d'étendu et résinégal, qui se succède du nord au sud :

Au nord, le long de la côte méditerranéenne, (Mostaganem) s'étend l'étroite plaine du Tell algérien. Cette plaine discontinue et de largeur variable ainsi que les vallées attenantes, abritent la grande majorité des terres agricoles.

Limitant la plaine côtière au sud, on observe un vaste ensemble de plus hauts reliefs : deux importantes chaînes de montagnes orientées est-ouest (l'Atlas tellien au nord, l'Atlas saharien) encadrent une région de hauts-plateaux désertiques,

Au sud de l'Atlas saharien s'étend l'immense désert du Sahara qui se compose pour une grande part de plateaux rocheux et de plaines caillouteuses. Une vaste région de sables (le Grand Erg occidental) constitue l'un des principaux ensembles de reliefs dunaires du désert saharien.

La région du Tell, au nord, est caractérisée par un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Il s'agit de la zone la plus humide d'Algérie, avec des précipitations annuelles variant entre 400 et 1 000mm d'eau. Les températures moyennes estivales et hivernales sont respectivement de 25 °C et de 11°C. En été, le sirocco, un vent sec et très chaud, souffle depuis le Sahara en direction du nord. (Righi, 2016)

Plus on descend vers le sud, plus le climat devient sec : les précipitations annuelles dans les hauts Plateaux et l'Atlas saharien ne dépassent pas 200 à 400mm. Le Sahara est une région ventée et très aride, où les amplitudes thermiques sont souvent considérables : ces variations de températures, extrêmement élevées le jour et très basses la nuit, s'expliquent par l'absence totale d'une humidité capable d'en atténuer les contrastes. La hauteur des pluies annuelles est inférieure à 130 mm dans l'ensemble du désert algérien. (Righi, 2016).

## **2. Principales wilayas productrices de la pomme de terre dans la région d'étude**

En Algérie la superficie occupée par la culture de pomme de terre varie chaque année, elle est passé de 149 665 ha avec une production de 46 533 222 qx en 2018 à 157 864 ha avec une production de 50 202 499 qx en 2019, avec un taux d'accroissement de 5% pour la superficie, de 8% pour la production et de 2% pour le rendement (MADR, 2019)

On note également qu'au cours des dernières années, la superficie dédiée à la culture de la pomme de terre a connu une expansion. Donc, les zones de production sont distribuées selon quatre zones géographiques : Littoral, sublittoral, atlas tellien et hautes plaines.

Contrairement aux pays septentrionaux où la pomme de terre est cultivée durant une saison, dans notre région d'étude et comme toutes les autres régions d'Algérie, elle est cultivée selon trois types de culture qui sont : la primeur (plantation 15 novembre-15 janvier), la saison (plantation 15 janvier-15 mars), et l'arrière-saison (15 août-15 septembre)

Les dates limites suivant les régions : - à partir de la mi-février : Zones littorales- Sublittorales.  
-mi-mars : Plaines intérieures. -mi-mai : Hauts plateaux

### 3. Principales variétés utilisées :

Les principales variétés cultivées dans notre région d'étude sont des variétés cultivées dans l'ensemble du territoire algérien. Il s'agit généralement de : Spunta (à chair blanche), Désirée (à chair jaune), Bartina, Lisita

### 4. Localisation des parcelles échantonnées

**Tableau 3 :** coordonnées géographiques et climatiques des sites étudiés

Wilaya	Localité	Coordonnées géographiques	Latitude	Longitude	Altitude	Etage bioclimatique	T°Cmin-max
Tiaret	Sebaine	35°27'22"N 1°36'13"E	35.4562	1.60349	898m	Semi-aride.	2-34°C
	Mahdia	35°25'53"N 1°45'34"E	35.4314	1.755953	903m		
	Dahmouni	35°25'0"N 1°28'35"E	35.4167	1.47629	995m		
Saida	Ouled Brahim	34°59'29"N 0°28'38"E	34.99	0.47726	1013m	Semi-aride	2-35°C
	Baloul	34°59'29"N 0°28'38"E	34.9894	0.4773	/		
SidiBelAbbes	AinKada	35°8'13"N 0°51'21"O	35.1369	-0.855871	693m	semi-aride	3-34°C
	Ténira	35°1'11"N 0°31'55"O	35.0197	-0.532064	613m		
Mostaghanem	Sirat	35°46'48"N 0°11'31"E	35.78	0.19194	47m	Sub-humide	8-31°C
	Ainnouissy	35°48'0"N 0°3'0"E	35.8	0.05	69m		
	Achacha	36°14'47"N 0°38'3"E	36.2463	0.634267	219m		
	Hadjaj	36°6'0"N 0°19'60"E	36.1	0.33333	263m		
Mascara	Tizi	35°18'53"N 0°4'18"E	35.3148	0.0715828	453m	Sub-aride	3-34°C
	Teghenif	35°25'0"N 0°19'59"E	35.4167	0.333	503m		
	Maoussa	35°22'44"N 0°14'45"E	35.3788	0.245948	485m		
	Matemore	35°19'33"N 0°12'49"E	35.3257	0.21359	472m		
	Oggaz	35°34'0"N 0°16'0"O	35.5667	-0.266667	68m		
	Sidikada	35°19'60"N 0°21'0"E	35.3333	0.35	521m		
	Ainfekan	35°13'30"N 0°0'6"E	35.2249	-0.0016308	432m		
	Ghriss	35°14'53"N 0°9'41"E	35.2481	0.161308	495m		
ELBayadh	Brézina	35°5'53"N 1°15'39"E	33.0994	1.26077	849m	Semi-aride froid	0-34°C
Temouchent	Sidi Ben Adda	35°18'19"N 1°10'53"O	35.3053	-1.18129	246m	Semi-aride	6-31°C

# CHAPITRE 1

# CHAPITRE I : ETAT DES INFESTATIONS DES PARCELLES PAR LES NEMATODES A KYSTES DE LA POMME DE TERRE DU GENRE *Globodera*

## 1. Matériel et Méthodes

Les signes des attaques des nématodes phytophages sur la partie aérienne des plantes sont peu précis et se manifestent par des décolorations, un jaunissement du feuillage et un ralentissement de la croissance de la plante attaquée. (Chabert et al, 2012).

Le recours à une analyse nématologique est primordiale pour un bon diagnostic, et pour l'étude de l'état d'infestation car ces symptômes peuvent être attribués à d'autres attaques parasitaires ou à des problèmes de culture.

### 1.1. Elaborations du questionnaire :

L'élaboration d'un questionnaire était primordiale pour la collecte d'information auprès des agriculteurs concernant les points suivants :

- Nom de l'agriculteur, Wilaya, localité, localisation géographique et la superficie occupée par la culture de pomme de terre
- Variétés utilisées, type de rotation et précédent cultural
- Culture destinée pour consommation ou multiplication
- Jachère pratiquée (travaillée ou non travaillée)
- Travaux du sol
- Désherbage, méthode utilisée
- Connaissance sur ce parasite (NKPT) ; morphologie, mode de dissémination et dégâts causés
- L'entretien et le nettoyage de la machinerie et des outils agricoles entre les parcelles
- Méthode de lutte employée contre ce parasite

Il est important de noter que nous avons eu quelques problèmes avec certains agriculteurs qui ont estimé que certaines réponses étaient confidentielles.

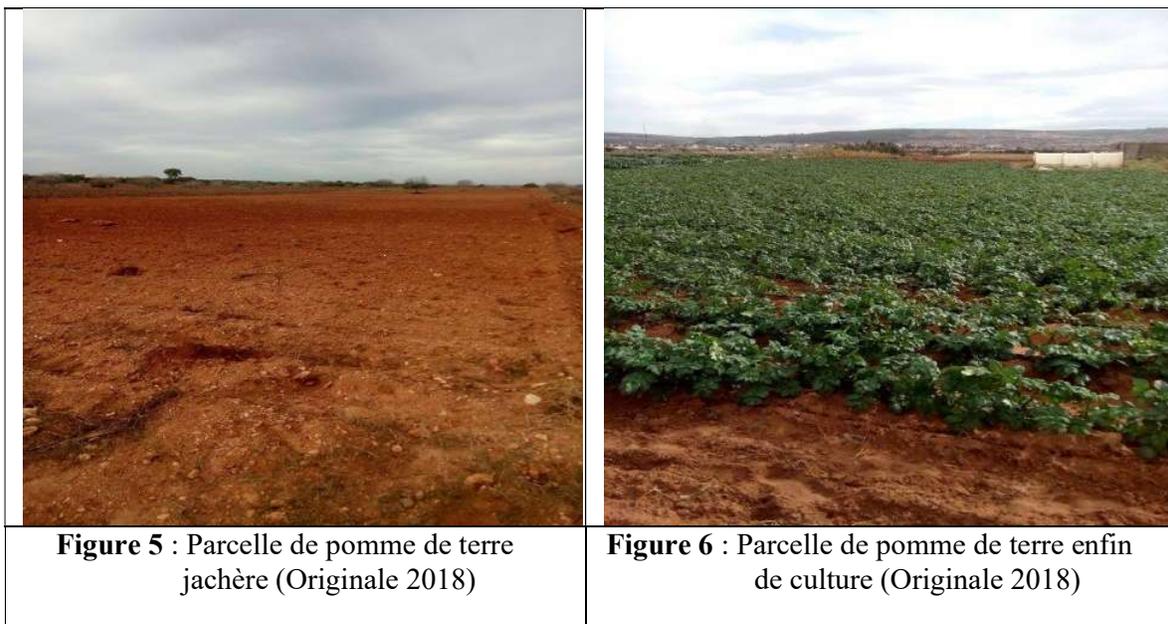
### 1.2. Analyse nématologique :

#### 1.2.1. Echantillonnage :

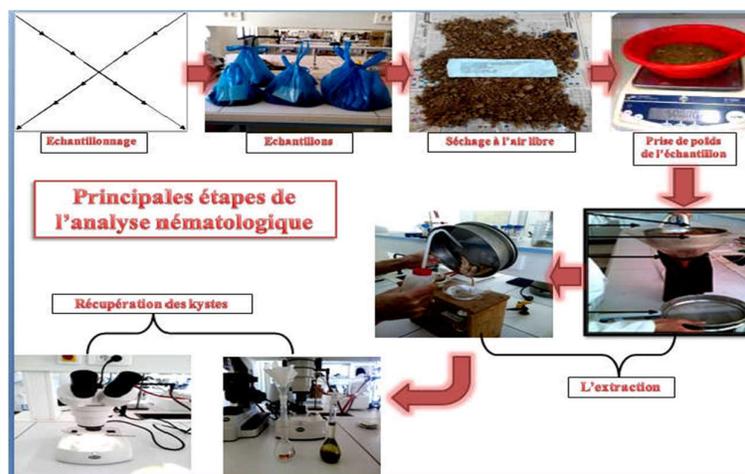
Des quantités représentatives de sol ont été considérées pour l'analyse provenant de 380 parcelles de pommes de terre de 3 à 5 hectares qui ont été prélevées entre 2017 et 2022, situées dans 21 localités représentatives des sites d'étude.

Il consiste à prélever des échantillons élémentaires de sol nu après la récolte de la pomme de terre à des profondeurs allant de 10 à 40 cm (zone de développement racinaire).

Les prélèvements sont effectués à la binette à partir de 40 à 60 différents points en suivant une trajectoire en zigzag. Les prises élémentaires sont de 40 à 50 gr chacune.



Le sol ainsi récolté (2a3kg) est mis dans des sacs en papier muni d'une fiche de renseignements indiquant : la date, le lieu d'échantillonnage, la variété utilisée, le précédent cultural, l'état et le numéro de la parcelle, ainsi que le nom du propriétaire.



**Figure 7** : Analyse nématologique (Originale 2018)

Au laboratoire, les échantillons du sol ont été étalés à l'ombre sur un papier dans un endroit bien aéré (Fig8), le sol est retourné de temps à autre pour faciliter l'évaporation progressive de l'humidité. Le séchage dure 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 500 gr par échantillon. On procède par la suite à l'extraction des kystes à partir du sol.

### 1.2.2. Extraction des kystes :

Les populations de nématodes à kystes ont été collectées à partir d'échantillons de sol naturellement infestés par le nématode à kystes. Les kystes ont été isolés à l'aide de la méthode de balayage de Fenwick (1940). Cette technique est basée sur la flottation qui permet de séparer les kystes des débris végétaux

Le principe de l'appareil de Fenwick est basé sur la densité du kyste par rapport à l'eau. La densité des kystes pleins de *Globodera* est inférieure à 1,18. Les kystes vides, peu importe leur taux d'humidité, ont en revanche une densité égale ou inférieure à 1. La densité des kystes secs (pleins et vides) est inférieure à 1. De cette manière, les kystes pleins et humides se sédimentent rapidement tandis que les kystes secs flottent à la surface de l'eau, ce qui facilite leur récupération. C'est la raison pour laquelle l'opération nécessite un préalable dessèchement du sol a étudiier (Nakachian, 1971).



**Figure 8 :** Appareil de Fenwick (Originale 2019).

L'appareil de Fenwick est un récipient métallique de grande taille, de forme conique (le cône tronqué), plus large à la base qu'à la surface, dont le fond est formé d'un plan oblique, incliné vers un orifice de vidange. Au sommet, une déverse est installée avec une gouttière périphérique qui guide l'écoulement lorsque le récipient déborde. On insère le sol à analyser dans l'appareil en utilisant l'embout d'un entonnoir qui est maintenu au-dessus de l'orifice supérieur par trois tiges métalliques. (Sosa Moss, 1966).

### 1.2.3. Mode opératoire :

L'appareil de Fenwick est rempli à ras bord. Le sol destiné à l'analyse est entraîné par un courant d'eau à travers un tamis de 2mm de maille dans un entonnoir qui plonge dans l'appareil de Fenwick. Les kystes flottent et sont entraînés par le trop – plein avant qu'ils aient le temps de se réhydrater. Ils sont retenus par un tamis à maille de 63µm. L'apport d'eau est permanent jusqu'à l'éclaircissement de l'eau qui déborde du récipient. Le fond de l'appareil est

aussitôt vidangé des éléments fins. Le contenu du tamis est récupéré à l'aide de jet d'eau d'une pissette sur du papier filtre tapissant un entonnoir porté par un Erlen. Le papier filtre est laissé sur l'entonnoir a température ambiante pendant 24 heures environ pour égoutter et sécher. Après le séchage, on procède à la récupération et le dénombrement des kystes sous loupe binoculaire.



**Figure 9** : Papier filtre contenant la matière Organique et les kystes. (Originale 2019)



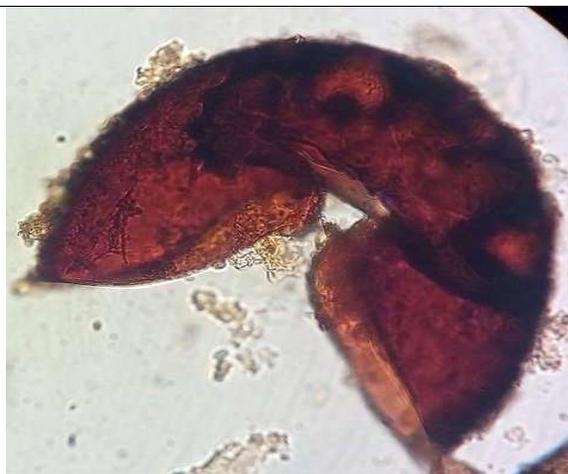
**Figure10** : Récupération des kystes de *Globodera Sp.* Sous une loupe binoculaire. (Originale 2019)

#### 1.2.4. Récolte des kystes :

La récupération des kyste pleins et vides est faite à l'aide d'un pinceau très fin sous loupe binoculaire. Les kystes pleins sont déposés dans des tubes d'Eppendorf et stockés sous une température de 6°C. 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.



**Figure11** : Aspect d'un kyste plein de *Globodera sp.* (Originale 2019)



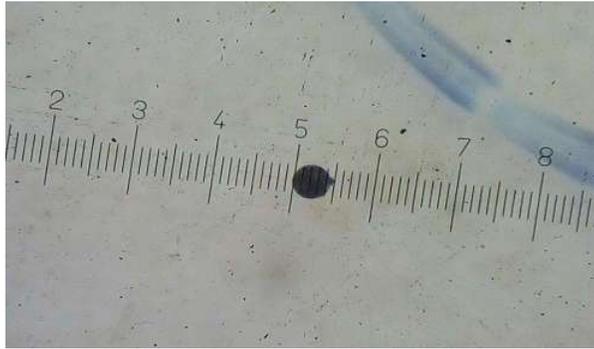
**Figure12** : Aspect d'un kyste vide de *Globodera sp.* (Original 2019)

### 1.2.5 Dénombrement :

Le dénombrement des kystes, œufs et larves est réalisé pour chaque échantillon en écrasant les kystes pleins extraits du sol en question.

À l'aide d'un scalpel sous la loupe binoculaire, chaque kyste est écrasé individuellement dans une goutte d'eau distillée sur une lame. Les œufs et les larves se déplacent dans l'eau et sont séparés et dénombrés à l'aide d'une épingle sous loupe binoculaire

L'identification des espèces de nématodes est basée sur les caractères morpho-métriques et anatomiques du cône vulvaire du kyste.



**Figure 13 :** Identification morpho-métriques des kystes.  
(Originale 2020)

### 1.3. Evaluation de l'état d'infestation :

La densité des kystes de *Globodera sp* est utilisée pour évaluer l'infestation des parcelles de pomme de terre par ce nématode. Si les kystes ne sont pas présents sur les parcelles prospectées, on peut considérer que la parcelle n'est pas infestée.

En revanche, la présence d'un seul kyste plein ou plus dans une parcelle, cela indique une infestation. La présence d'un seul kyste dans une parcelle dans une zone de production de plants entraîne l'interdiction de la culture de la pomme de terre pendant au moins cinq ans. (Chauvin et al., 2008)

Il est à noter que 380 prélèvements (parcelles) représentant 21 localités appartenant à 7 wilayas de la région ouest de l'Algérie ont été analysés. Tous les kystes sont récupérés y compris les kystes vides comptés et puis conservés pour des utilisations ultérieures.

Le Taux d'infestation est calculé par l'équation suivante (Seenivasan,2017) :

$$\text{Taux d'infestation} = \frac{\text{Nombre d'échantillons infestés}}{\text{Nombre d'échantillons prélevés}} \times 100$$

## 2. Résultats :

Les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessous ont permis d'établir une approche sur l'infestation et la répartition des nématodes à kystes *Globodera* sp dans les régions prospectées en dévoilant que 176 soit 46,31% des parcelles de pomme de terre sont infestés, et seulement 12,36% des échantillons prélevés contiennent des œufs, L1 et L2. Cependant le taux d'infestation varie selon les régions (Tableau 3).

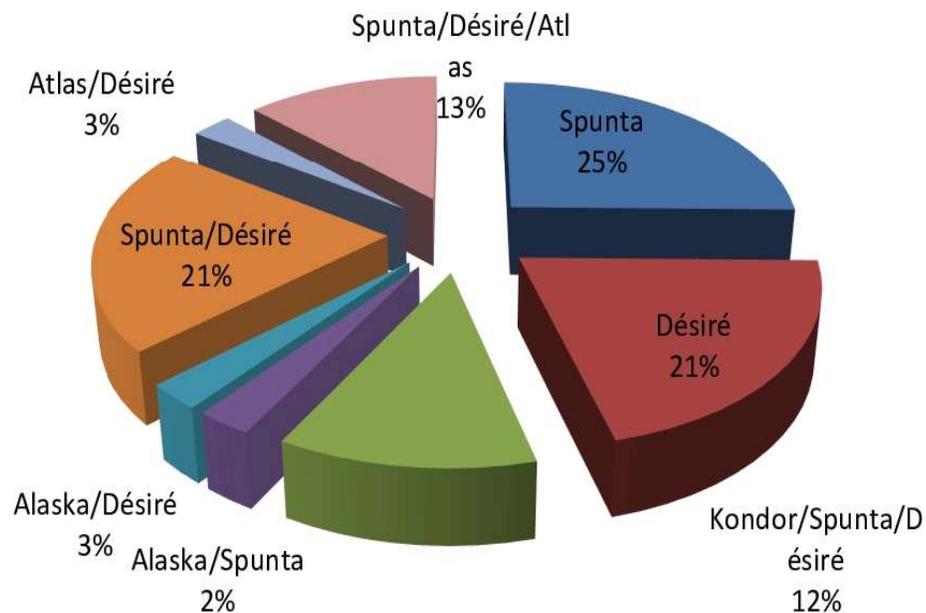
**Tableau 4 :** Région prospectées, variétés utilisées, précédant, cultural, nombre d'échantillons contenant des kystes, des œufs et des larves des nématodes *Globodera* sp.

Région	Localité	Variété utilisé	Précédant cultural sur 3ans	Nbr. d'échant. prélevés	Nbr d'échant. Contenant des kystes	Nbr d'échant. Contenant des œufs/larves	% des échant. Contenant Œufs et larves
Tiaret	Sebaine	Spunta	Céréales	21	8	3	14.28%
	Mahdia	Desiré	Céréales	21	10	2	9.52%
	Dahmouni	Desiré	Céréales	17	6	2	11.76%
Saida	Ouled Brahim	Desiré	Céréales	10	3	1	10%
	Balloul	Desiré	Céréales	7	2	1	14.28%
SidiBe lAbbés	AinKada	Desiré	Oignon/Céréales	17	6	1	5.88%
	Ténira	Spunta	Jachère/Céréales	20	9	2	10%
Mostaganem	Sirat	Spunta	Melon/pomme De terre/Tomate	9	4	2	22.22%
	Ain nouissy	Desiré	Jachère/Tomate	7	3	0	0%
	Achaacha	Alaska/Spunta	Pomme de terre /Melon	10	5	0	0%
	Hadjaj	Alaska/Desiré	Pomme de terre /Melon	10	2	0	0%
Mascara	Tizi	Spunta/Desiré	Pomme de Terre /Céréales/ Jachère	25	15	4	16%
	Teghenif	Konddor/Spunta/Desiré	Pomme de terre	45	27	7	15.55%
	Maoussa	Spunta/Desiré	Tomate/Jachère	20	8	3	15%
	Matemor e	Spunta/Desiré	Jachère/Céréales	18	9	1	5.55%
	Oggaz	Spunta	Céréales/Jachère/ Tomate	5	3	1	20%
	SidiKada	Spunta/Desiré	Pomme de terre/Céréales	19	14	8	42.10%
	AinFekan	Desiré/Atlas	Céréales	10	6	2	20%
Ghriss	Spunta/Atlas/Desiré	Céréales/Jachère/ pomme de terre	48	22	7	14.58%	
ElBayadh	Brézina	Spunta	Céréales/Jachère	29	10	0	0%

			e				
Temouchant	Sidi Ben Adda	Spunta	Oignon/Tomate / Pastèque	12	4	0	0%
Total	/	/	/	380	176	47	100%

Selon les données collectées de notre enquête et après l'analyse des résultats concernant les variétés de la pomme de terre cultivées, dans les différentes parcelles, il est avéré que la variété la plus dominante est la variété Spunta. En effet, 25,26 % des parcelles sont cultivées seulement par cette variété et dans certaines localités cette dernière est cultivée en association avec d'autres variétés comme les variétés Kondor/Désiré (11,84 %), Alaska (2,63 %), Désiré (21,58%), Désiré/Atlas (12,63%).

20,79% des parcelles prospectés sont cultivé avec la variété Désiré, et dans certaines localités, la variété Désiré est cultivée en association avec d'autres variétés comme Atla (2,63%) et Alaska (2,63%) sont aussi cultivées seules dans d'autres parcelles (Tableau 3)



**Figure 14** : Répartition des variétés de la pomme de terre cultivées dans les parcelles prospectées dans la zone d'étude.

Dans 42,85 % des localités prospectées, les agriculteurs utilisent l'une des deux variétés (Spunta et Désirée). La première variété est considérée comme hôte favorable au développement du Nématode à kystes de la pomme de terre. Greco et al. (2007) ont montré que la variété Spunta est sensible à l'attaque des Nématodes du genre *Globodera*, tandis que la variété Désirée est plus résistante.

Lors de l'échantillonnage, une série de questions a été posée aux agriculteurs. Parmi celles-ci figurait le type de rotation adopté au niveau des parcelles prospectées, et plus précisément les cultures mises en place sur les trois dernières campagnes agricoles. D'après les réponses obtenues, on a pu constater que :

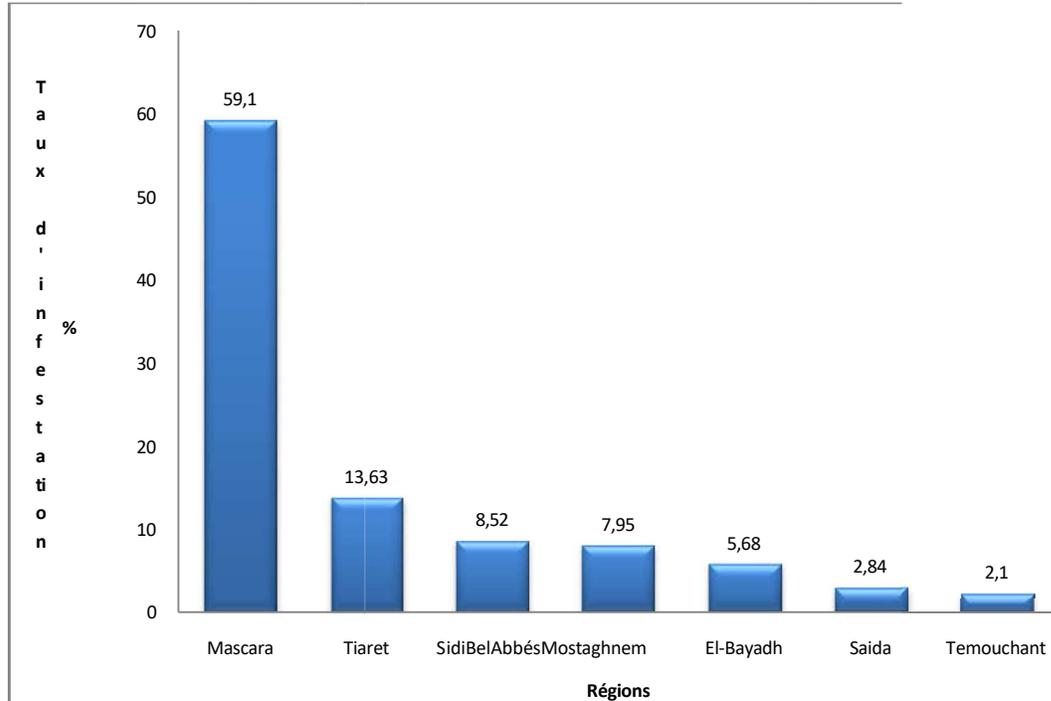
- La monoculture (3ans successives) est pratiquée dans 30% des parcelles inspectées.
- Une rotation binaire est appliquée (pomme de terre-céréales).
- La rotation dominante est par l'introduction de cultures maraichères (n'appartenant pas aux solanacées).
- La pratique de la période de repos par la jachère a été adoptée par quelques agriculteurs bien informés dans les régions de : Mascara, Sidi Bel Abbés et Mostaganem

En générale, le système de rotation pratiqué dans la région d'étude semble être efficace contre le développement du NPKT, sachant que les kystes de ce dernier peuvent résister à l'absence de l'hôte pendant plusieurs années.

### **2.1.Répartition du taux d'infestation des parcelles par le nématode à kystes *Globodera* sp. dans différentes régions :**

Les valeurs des taux d'infestation varient entre 2,1 %, représentant le pourcentage le plus faible, qui a été enregistré dans la wilaya de Témouchent avec 4 parcelles, et 59,10 %, représentant le pourcentage d'infestation le plus élevé, observé dans la wilaya de Mascara avec 104 parcelles. (Fig 16).

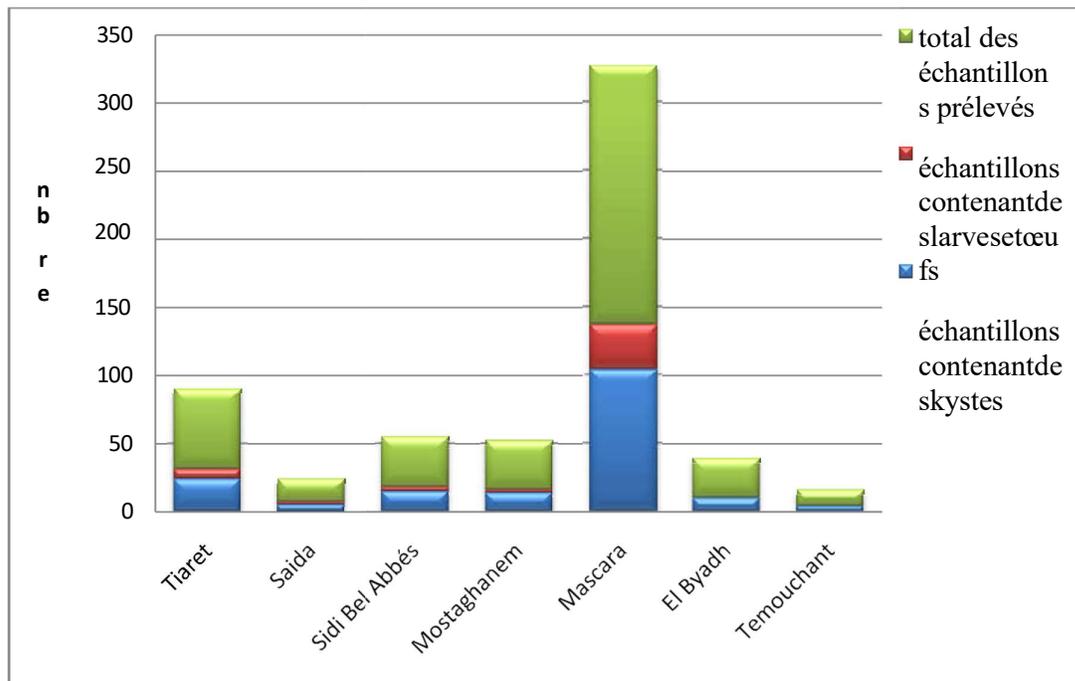
**Figure15** : Répartition globale de l'infestation en fonction des régions



Les parcelles infestées (176 parcelles) sont réparties de manière variable sur les différentes wilayas inspectées (Fig16). Mascara a enregistré le plus grand nombre de parcelles avec 104 parcelles, soit 59,10%, suivi de Tiaret avec 24 parcelles, soit 13,63% suivis de Sidi-Bel-Abbès avec 15 parcelles, soit 8,52 %, suivi de Mostaganem avec 14 parcelles, soit 7,95 %, ensuite El-Bayadh avec 10 parcelles, soit 5,68 %, et enfin Saïda avec 5 parcelles, soit 2,84 %.

Toutefois, à Témouchent, il n'y a eu que 4 parcelles infestées, soit 2,10 % de l'ensemble des parcelles infestées. L'histogramme de la figure 17 présente plus clairement la répartition globale des parcelles infestées dans les différentes régions de l'ouest algérien.

A partir des résultats recueillis de l'analyse nématologique, on constate que le nombre des échantillons contenant des œufs et des larves est considérablement faible comparé aux échantillons prélevés et à ceux contenant des kystes, et cela est dû au nombre élevé des kystes vides et non viables.



**Figure16** : Degré d'infestation des parcelles par *Globodera sp* dans la zone d'étude

Ces résultats montrent que 17,89% de la totalité des parcelles contiennent des kystes non viables (kyste vides). Ces observations ont été notées au sein des parcelles des localités d'El Bayadh et Témouchent. Ceci s'explique soit par l'absence prolongée de l'hôte, soit par une introduction des kystes par le vent.

En prenant en compte la viabilité des kystes, nous pouvons conclure que 82,10 % des parcelles prospectées sont réellement infestées.

## 2.2. Degré d'infestation des parcelles de pomme de terre :

Dans la pratique, le degré de contamination du sol par les nématodes à kystes est souvent exprimé sous forme d'un nombre de kystes par unité de volume de sol. Selon Aubert (1987)

Cette indication assez grossière et imprécise peut être affinée en précisant le nombre de kystes pleins et le nombre de kystes vides ou, mieux encore, en dénombrant les juvéniles ou œufs vivants à l'intérieur des kystes (exprimés en nombre d'individus par gramme de sol).

L'estimation du degré d'infestation nécessite l'étude préalable du contenu des kystes prélevés, ainsi que la viabilité des œufs et des larves qu'ils contiennent.

Le niveau d'infestation d'une parcelle par ces nématodes est exprimé par le nombre d'œufs et de larves par gr de sol (Minnis et al. 2002, Ibrahim et al., 2004, Ibrahim et al., 2017). Cette dernière est comparée avec le seuil de nuisibilité qui est déterminé à 10 larves/ g de sol (Mugniery, 1975).

La réalisation des cartes d'infestation est établie selon une échelle obtenue à partir de l'étude de la fécondité des kystes des différentes populations. Ainsi le taux moyen des œufs/larves viables et le seuil de nuisibilité (10 L2/g. sol) avancé par Mokabli, sont pris en considération pour l'élaboration de cette échelle. (0= parcelle indemne ; 1 à 4 œufs/L1/L2/g. sol= faiblement infestées ; 5 à 9= moyennement infestées ; <10= fortement infestées

Sur la base des données recueillies de 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 dans les wilayas prospectées.

La réalisation des cartes de distribution des nématodes dans chaque région d'étude a été effectuée à l'aide du programme Esri ArcGIS 10.8. ArcGIS qui est un système complet permettant de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

ArcGIS vous permet de :

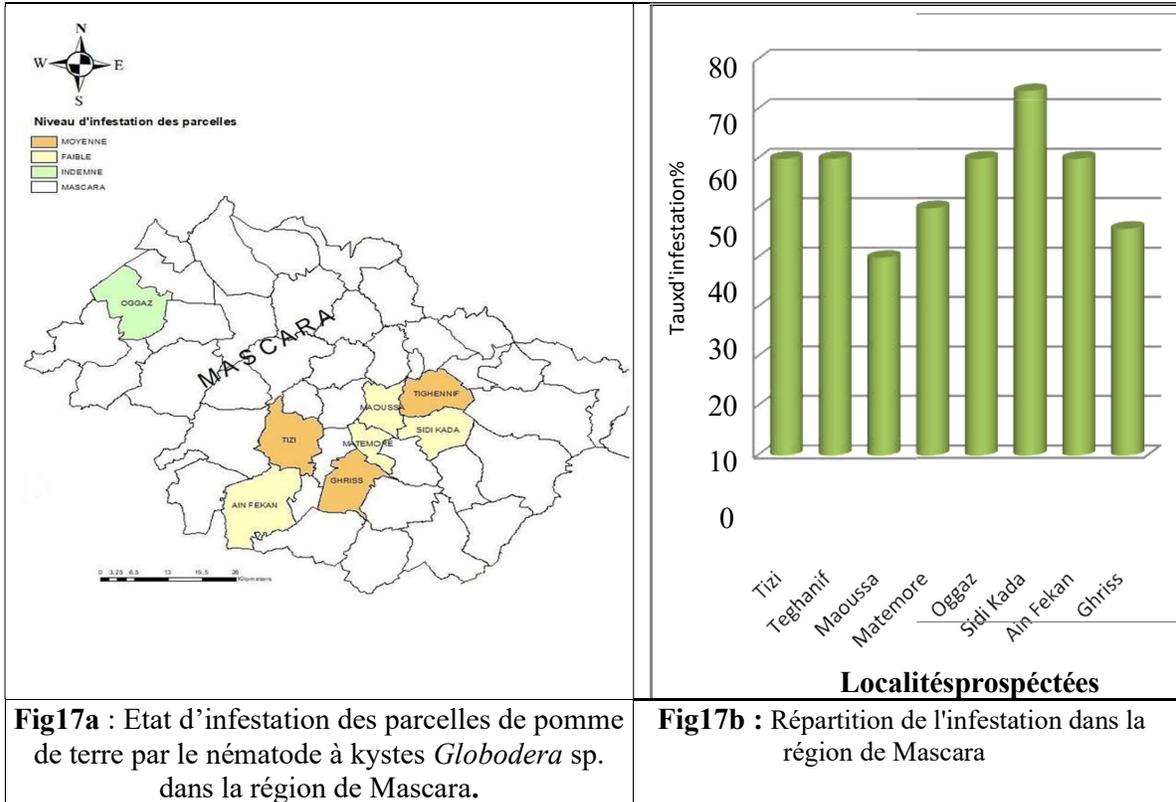
- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes ;
- Rassembler les informations géographiques ;
- Créer et gérer des bases de données géographiques ;
- Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale ;
- Créer des applications basées sur la carte ;
- Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation.

Source : <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles>

### **2.2.1. Dans la wilaya de Mascara**

Les résultats représentés dans les figures (18a et 18b), montrent que la distribution géographique de *Globodera sp* dans les communes n'a pas de limite.

Notre étude a révélé la présence de ce nématode dans 100% des parcelles explorées. Cependant les niveaux d'infestation fluctuent selon les localités, 37,5% des communes ont une infestation moyenne, 50% des communes prospectées ont une infestation faible et seulement 12,5% pour la commune d'Oggaz qui s'avère être indemne.



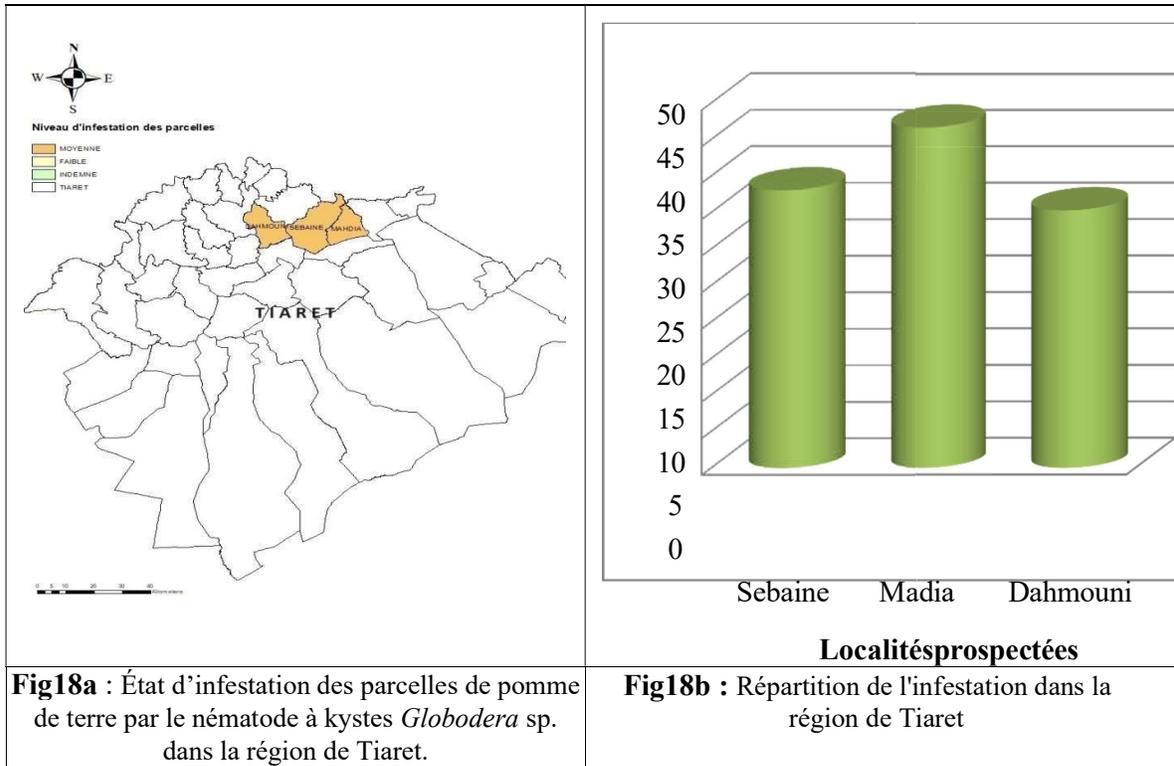
Les populations de nématodes dans les différentes localités prospectées représentent une infestation moyenne ou faible qui est en dessous du seuil de nuisibilité dont la valeur est estimée autour de 10 larves (L2) par gramme de sol (Mugniery, 1975)

La succession de la culture de pomme de terre sur les mêmes parcelles et les conditions climatiques favorables ne font qu'accroître le risque d'infection

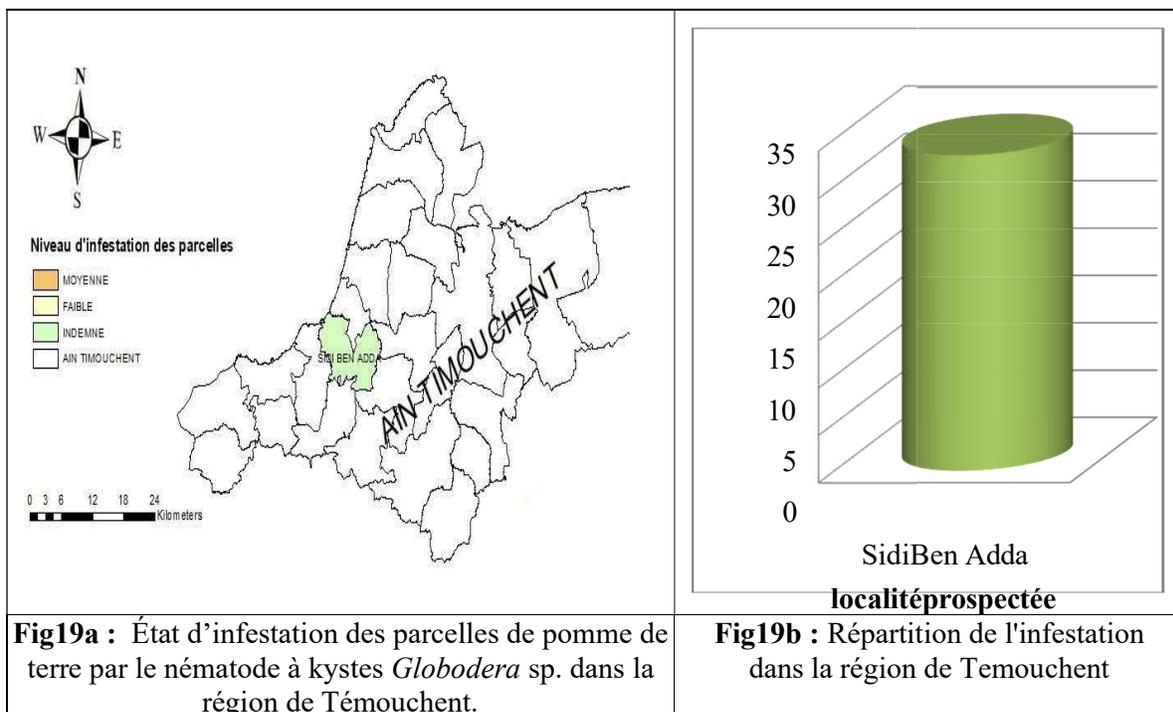
Le système de rotation pratiqué dans cette région qui permet le retour de la pomme de terre tous les trois ans favorise le développement du NPPT. Ceci explique les infestations importantes enregistrées au niveau de cette région.

### 2.2.2. Dans la Wilaya de Tiaret :

Les résultats illustrés par les figures 19a et 19b, montrent que 100 % des communes étudiées sont moyennement infestées, avec des taux d'infestation allant de 35,3 % pour Dahmouni, 38,09 % pour Sebaine, à 46,61 % pour la commune de Mahdia. Aucune parcelle n'a été fortement contaminée.



### 2.2.3 Dans la wilaya de Témouchent :

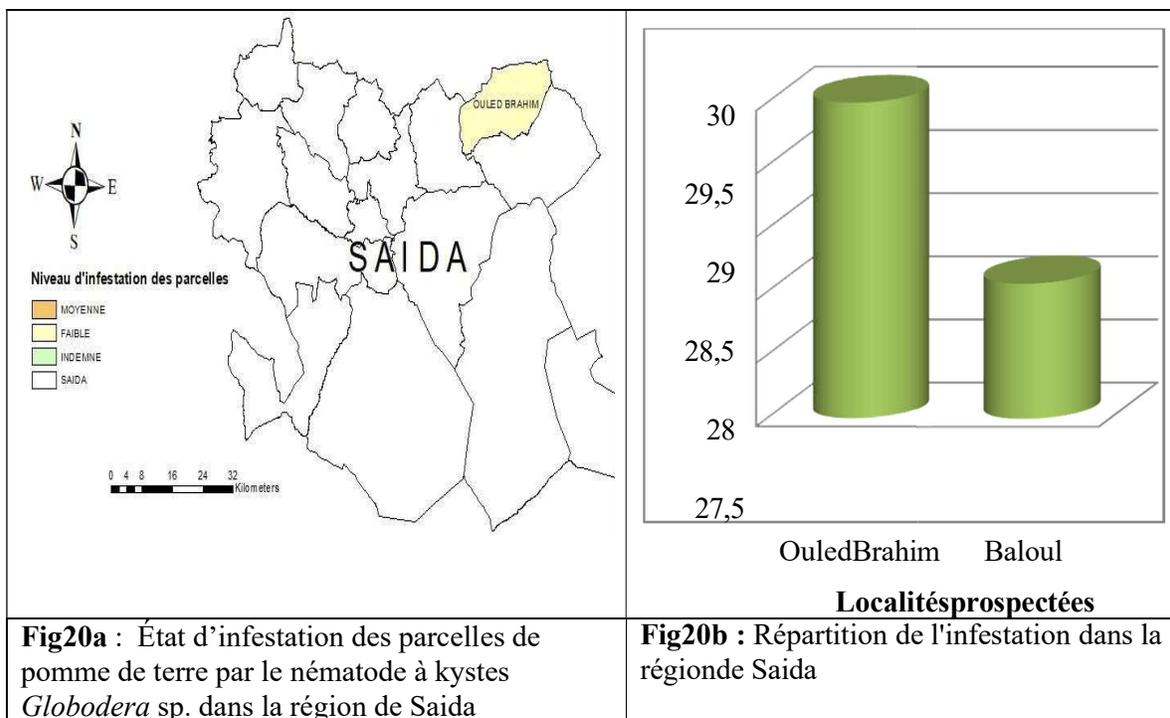


Représentée par la commune de Sidi Ben Adda, 12 parcelles de pomme de terre ont été prospectées et seulement 4 parcelles ont été infestées avec un taux de 33,33%, cependant toutes les parcelles sont indemnes de ce parasite (Oeufs/L1/L2=0) (fig.20)

### 2.2.4. Dans la Wilaya de Saida :

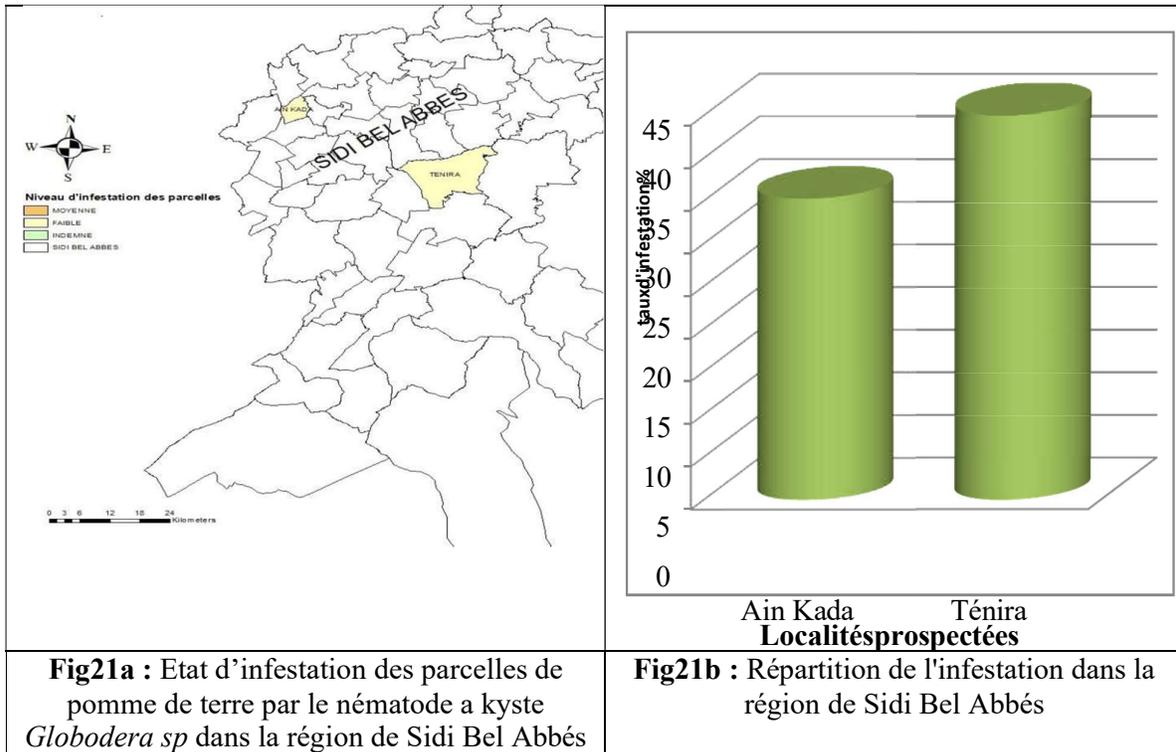
Bien que notre enquête ne se soit étendue qu'à deux localités, la présence des espèces de *Globodera* responsables de l'infestation a été découverte dans cette zone. (Fig. 21 a et 21b)

De cette manière, les parcelles des deux localités, à savoir Ouled Brahim avec un taux d'infestation de 30% et Baloul avec un taux de 28,57% ont enregistré un niveau d'infestation faible



### 2.2.5. Dans la Wilaya de Sidi Bel Abbés :

Deux communes : Ténira et Ain Kada ont fait l'objet d'une prospection. Les parcelles des deux communes ont enregistré un niveau d'infestation faible, avec des taux d'infestation de 35,3 % pour Ain Kada et de 45 % pour Ténira.

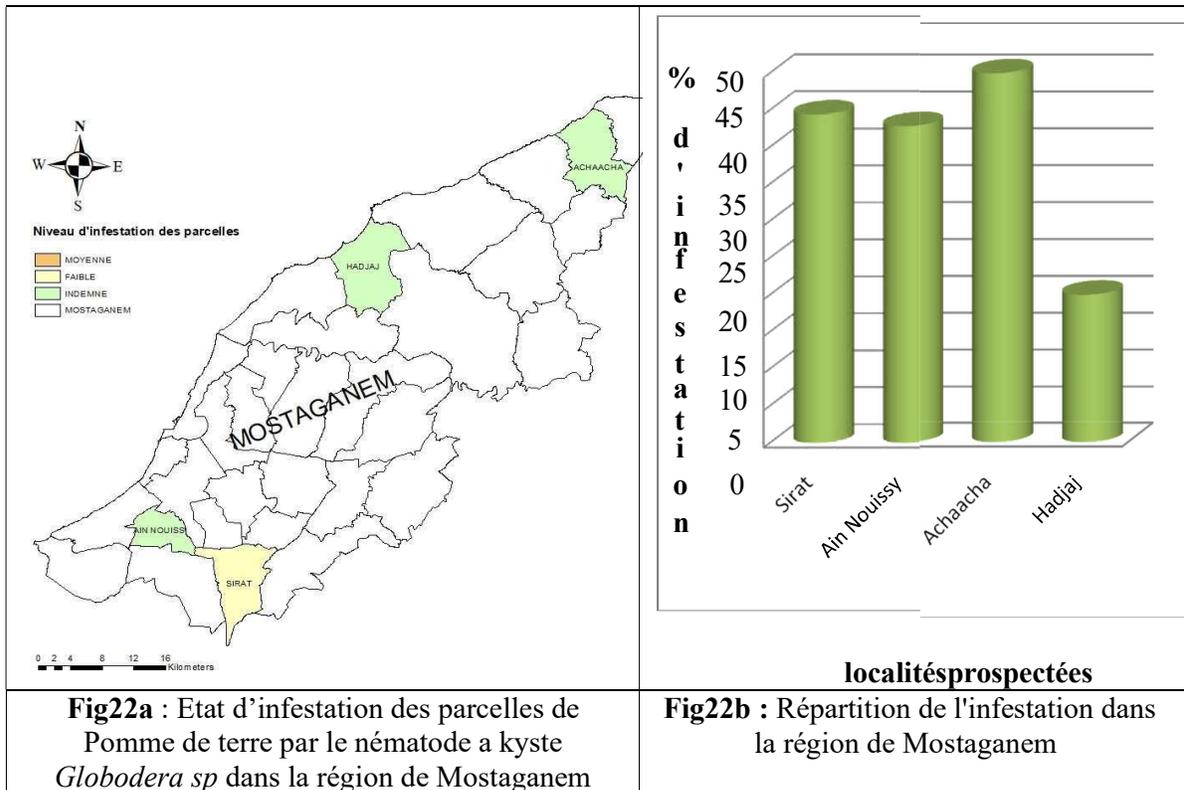


### 2.2.6. Dans la Wilaya de Mostaganem :

Dans la région de Mostaganem, où les explorations nématologiques ont permis le balayage de 36 parcelles appartenant à 4 localités ou la vocation de pomme de terre s'est installer depuis plus d'un demi siècle, le taux d'infestation inscrit est de 100% de communes infestées.

Les valeurs des taux d'infestation enregistrés oscillent entre 20 % et 50 % (Fig. 21b). Le niveau d'infestation dans les communes de Hadjaj, Ain Nouissy et Achaacha était indemne (Nombre d'œufs/L1/L2 < 1), malgré des taux d'infestation respectifs de 20 %, 42,85 % et 50 %. Cela peut être expliqué par la faible densité des kystes vides enregistrée dans ces localités.

Cependant la commune de Sirat enregistre un taux de 44,44% avec un niveau d'infestation faible

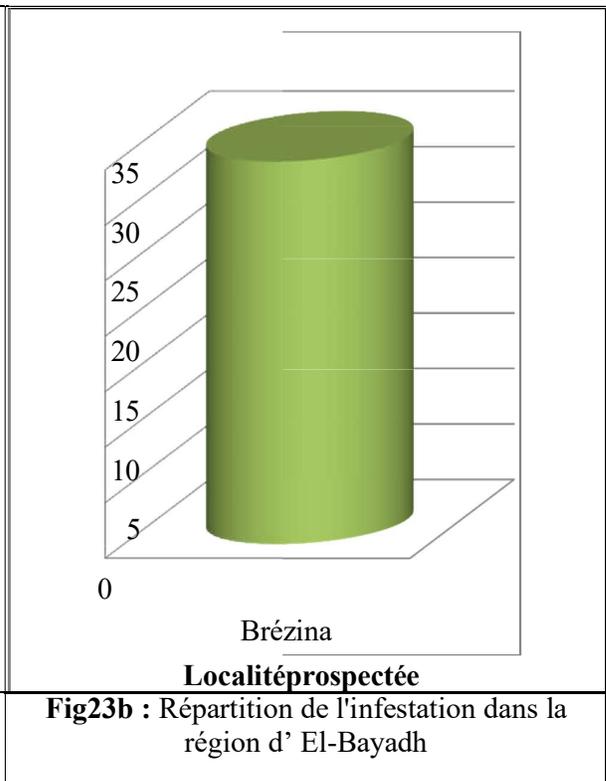
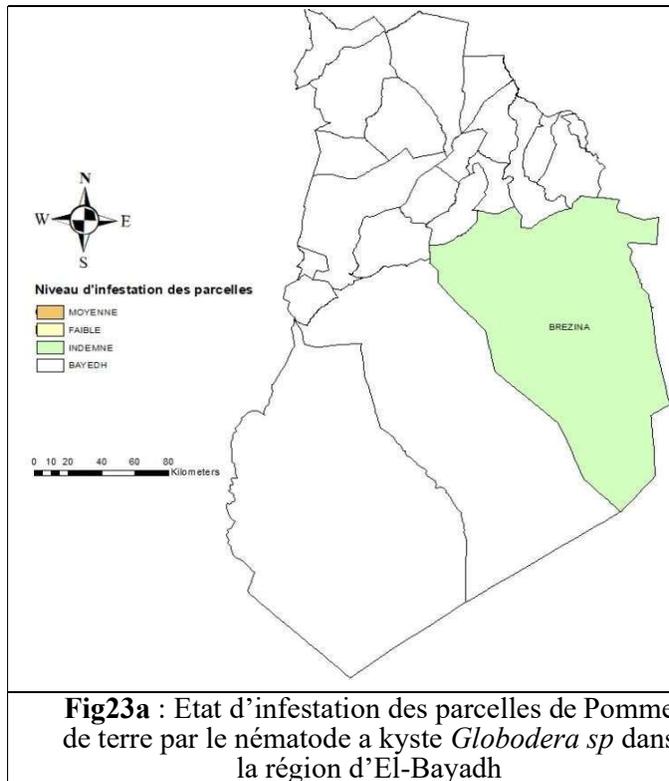


### 2.2.7. Dans la Wilaya d'El-Bayadh :

En ce qui concerne la wilaya d'El-Bayadh, une seule commune a été examinée et a été trouvée indemne de ce parasite, même si son taux d'infestation est de 34,48% en raison de la présence de kystes vides.

Les nématodes à kyste de la pomme de terre (*Globodera rostochiensis* et *G. pallida*) ont été signalés dans la plupart des zones étudiées et constituent une contrainte importante pour la production de pommes de terre dans le pays.

Les résultats relatifs à l'état d'infestation des parcelles de pomme de terre dans les communes Infestées sont retracés dans le tableau 4.



$$* = \frac{\text{Nombre des kystes plein} \times \text{moyenne du nombre d'oeufset larves}}{500}$$

**Tableau 5 :** Infestation des parcelles de pomme de terre par *Globodera*

Région	Localité	Nombre de parcelles	Nbre Moyen des kystes plein/500 gr	Nbre Moyen des kystes vides/500gr	(%) de kystes pleins	(%) De kystes vides	Nombre moyen des œufs et larves contenus dans les kystes	Nombre d'œufs et larves / g de sol
Tiaret	Sebaine	21	0,47	352,66	0,13	99,87	364,5	7
	Mahdia	21	0,38	324,70	0,12	99,88	289,88	5,6
	Dahmouni	17	0,41	280,10	0,15	99,85	347,14	4,9
Saida	OuledBrahim	10	0,2	210,12	0,095	99,90	299	1,4
	Balloul	7	0,43	178,90	0,24	99,76	296,33	2,1
SidiBelAbbes	AinKada	17	0,12	258,18	0,046	99,95	309,5	1,4
	Ténira	20	0,3	289,45	0,10	99,90	243,28	4,2
Mostaganem	Sirat	9	0,56	201,62	0,28	99,72	242	3,5
	Ainnouissy	7	0	165,60	0	100	0	0
	Achaacha	10	0	156,78	0	100	0	0
	Hadjaj	10	0	150,60	0	100	0	0
Mascara	Tizi	25	0,48	361,3	0,13	99,86	328	8,4
	Teghanif	45	0,33	413,40	0,08	99,92	330,67	9,8
	Maoussa	20	0,35	310,24	0,11	99,88	308,13	4,9
	Matemore	18	0,17	270,52	0,063	99,93	366,67	2,1
	Oggaz	5	0,2	67	0,3	99,73	245	0,7
	SidiKada	19	0,58	210,80	0,27	99,73	230,36	7,7
	AinFekan	10	0,3	171,40	0,17	99,83	356,33	2,1
ElBayadh	Ghriss	48	0,29	367,71	0,08	99,92	250,21	9,8
	Brézina	29	0	202,75	0	100	0	0
Temouchant	SidiBenAdda	12	0	147,33	0	100	0	0

Selon notre expérimentation, l'analyse des échantillons infestés montre une dominance quasi totale des kystes vides par rapport aux kystes pleins dans toutes les régions prospectées, avec des pourcentages dépassant les 99% pour Tiaret, Mascara, Saida, Sidi Bel Abbés et Mostaganem et 100% pour El-Bayadh et Temouchant pour toutes les communes.

Concernant le pourcentage des kystes pleins il est entre 0% pour chacune des wilayas de El-Bayadh et Temouchant et 0,17% pour la région de Saida

Relativement au nombre d'œufs et de juvéniles /g de sol, une légère différence a été notée entre les parcelles étudiées, le niveau le plus élevé a été noté à Mascara avec une moyenne de 8,05 œufs et larves/g de sol, suivis de Tiaret avec une valeur moyenne de 5,83œufs et larves/g de sol, suivis de Sidi Bel Abbés avec 2,8œufs et larves/g de sol, ensuite vient la wilaya de Saida avec une moyenne de 1,75 œufs et larves/g de sol, et une valeur de 0,87œufs et larves/g de sol pour la wilaya de Mostaganem, alors que le niveau le plus faible a été signalé à El-Bayadh et Temouchant avec 0 œufs et larves/g de sol.

En ce qui concerne le nombre d'œufs et de larves par kyste, il est variable. La forte présence a été constatée chez les kystes en provenance de la localité de Matemore-Mascara avec un taux moyen de 366 d'œufs et de juvéniles/Kyste

Les kystes provenant de la région de Sidi Kada-Mascara présentent un nombre d'œufs et de larves limitées à 230 œufs et larves/kyste, et on compte 5 localités indemnes (Ain nouissy, Hadjaj, Achaacha, Brézina et Sidi Ben Adda) de NKPT appartenant à 3 wilayas ; Mostaganem, El-Bayadh et Temouchant. Les valeurs enregistrées varient de 43 à 476.

### **3. Discussion :**

D'une manière générale, la cartographie de l'infestation dans les régions de l'ouest algérien démontre que ce nématode possède une grande capacité d'adaptation écologique, ce qui lui permet de se développer et de se propager dans divers endroits.

Ainsi sa présence s'étale sur le littoral ouest. Son extension suit celle des solanacées cultivées et spontanées. Ce sont surtout les premières qui sont responsables de l'importance des infestations et ce à cause des pratiques culturales inadéquates qui permettent la pullulation de ce ravageur (Righi. 2016).

Aucune infestation forte n'a été observée dans notre étude d'évaluation de l'état d'infestation des parcelles de pomme de terre par le NKPT. Ainsi, l'état d'infestation des parcelles de toutes les régions examinées n'a ni n'atteint ni dépassé le seuil de nuisibilité. La plupart des localités ont enregistré une infestation moyenne ou faible, tandis que quelques parcelles ont été

indemnes.

Selon plusieurs rapports (Trudgill, et al., 2005, Kakaire et al., 2012, Van der Waals et al., 2013), l'un des facteurs environnementaux les plus influents sur le développement des nématodes est la température. Les nématodes, comme les autres animaux ectothermes, dépendent de sources de chaleur externes pour maintenir leur température corporelle. Ce sont également des organismes poïkilothermes dont la température corporelle est presque identique à celle de leur environnement.

Les températures maximales enregistrées dans les régions d'étude dépassent généralement les 25°C et atteignant en été les 34-35°C

Les deux espèces de NKPT réagissent différemment à la température. Les populations de *Globodera pallida* éclosent et se reproduisent généralement à des températures plus basses que celles de *G. rostochiensis*. De plus, *G. rostochiensis* réussit mieux que *G. pallida* à des températures supérieures à 20°C (Franco, J. 1979).

Les taux d'infestation faibles ou moyens restent des taux importants et inquiétants qui doivent être pris au sérieux. En dépit de leur diminution, ces kystes constituent une menace grâce à la fécondité élevée des femelles, pouvant atteindre 1000 œufs/kyste (Chauvin et al. 2008).

Par ailleurs, les kystes pleins n'ont pas été noté dans la région de El-Bayadh, Temouchant et quelques localités de Mostaganem, uniquement la présence de kystes vides a été enregistré qui par leurs aspects détériorés indiquaient qu'ils sont anciens. Ceci peut être expliquer par l'influence des conditions de la parcelle qui est défavorables à la multiplication de ces parasites. Cependant ces résultats n'excluent pas la présence de kystes viables du NKPT dans ces régions.

Dans ces régions, la pomme de terre est produite de manière irrégulière et principalement en rotation avec d'autres cultures (Melon, Pastèque, Oignon, Céréales, Jachère ...) (Tableau 4). Cette pratique peut réduire la multiplication et la propagation de ces nématodes phytophages. Ainsi que les degrés de températures qui dépassent largement l'optimum du NKPT qui est de 10 à 20°C.

Le taux élevé des kystes vides peut être expliqué par la compétition intense pour un choix phénotypique sexuel masculin, chez certains nématodes à kystes, il a été démontré que la disponibilité des nutriments est un facteur critique dans la détermination du sexe (Grundler, Betka et Wyss, 1991). Les juvéniles qui réussissent à initier un site d'alimentation productif qui jouxte les tissus vasculaires de la plante ont tendance à se transformer en femelles alors que ceux dont l'apport en nutriments est restreint ont plus de chances de se transformer en mâles. Trudgill et al. (1967), explique que en cas de fortes densités de population, la compétition pour les nutriments peut se traduire par un nombre de mâles dix fois supérieur à celui des femelles.

Nos résultats sont comparables à ceux de Mezerek et al. (2008), qui ont démontré que *Globodera* sp. Est largement présent dans la région étudiée, avec une différence hautement

significative entre les régions infestées, suivant un gradient descendant du nord au sud.

En revanche, les taux des kystes varient selon les régions, les pourcentages des kystes vides de *Globodera spp* étaient très importants par rapport à ceux des kystes pleins dans les régions du nord, et dans le sud le pourcentage des kystes pleins dépasse amplement ceux des kystes vides avec un taux d'infestation de 98,22 juvéniles /g de sol. Cependant dans quelques localités une absence totale des kystes a été remarqué.

Une prospection faite par Mekhaneg, (2024) en plaine du Chélif, a révélé la présence de nombre importants de kystes de *Globodera sp*, cependant on y constate toujours que le nombre de kyste vides est élevé et plus important que celui des kystes pleins.

L'investigation menée par Djebroune, (2019), démontre que les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera sp* sont largement distribués dans les étages bioclimatiques de l'humide au saharien, seulement 35,23% des terrains prospectés contiennent le NKPT avec des taux d'infestation variant de 5 à 75%. L'analyse nématologique a mis en évidence une Prédominance des kystes vides de *Globodera sp*. dans les échantillons de sol collectés dans les différentes localités régions. Selon le même auteur, 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.

Selon Hancock, (1996), l'échantillonnage d'un seul site et la découverte d'une infestation ne signifie pas que toutes les terres de ce producteur étaient infestées. De la même manière, l'absence d'infestation ne signifie pas que toutes les terres du producteur étaient dépourvues de NKPT.

Des recherches similaires menées dans différents pays mettent en évidence la présence des nématodes de pomme de terre, mais avec des taux d'infestation différents. Une étude a été menée en 2022 en Bolivie, a démontré que 82 % des échantillons prélevés ont révélé la présence de *Globodera sp*. Les densités de population de NKPT étaient plus élevées dans certains départements (297 à 1 008 kystes/250 cm<sup>3</sup> de sol) que d'autres (~85 kystes/250 cm<sup>3</sup> de sol). (Subbotin et al., 2023).

Kachacha et al., (2020), à étudier la distribution spatiale des nématodes à kyste de la pomme de terre, précisant qu'une augmentation du taux de contamination a été observé par rapport au taux obtenus lors de la dernière enquête (Ibrahim et al., 2004), ce qui indique une augmentation significative de la distribution. Les résultats ont révélé que 81,8 % des échantillons d'une région contenaient des NKPT, mais seulement 77,7 % environ contenaient des œufs. Alors que dans une autre région, des NKPT ont été détectés dans 74,2 % des échantillons collectés, avec un niveau plus élevé de contenu en œufs.

Après avoir questionné quelques agriculteurs, on constate que les causes majeures de la prolifération des nématodes dans les parcelles prospectées sont :

- La machinerie et les instruments utilisés par les exploitants sont mal entretenus et ne sont presque jamais nettoyés entre deux parcelles, ce qui va probablement favoriser la pullulation du NKPT, qui est peut-être transporté dans les mottes de sol coincées dans le matériel agricole
- Le non respect de la rotation et de la période de repos (jachère), et l'application de la

monoculture l'utilisation des variétés non résistante

- Le manque de vigilance et de sensibilisation chez les agriculteurs, qui pour la plupart d'entre eux ignore l'existence de ce parasite, d'où l'absence d'analyse nématologiques

Les variations des niveaux d'infestation découlent de l'interaction de divers facteurs qui peuvent influencer sur les populations du nématode a kyste de la pomme de terre (NKPT) tels que :

- La sensibilité variétale : selon nos investigations lors de l'échantillonnage, la variété la plus utilisée été Spunta suivis de Désiré, les producteurs sont motivés par les rendements élevés que procure ces variétés ainsi que leurs disponibilités accrues sur le marché, cependant, ces espèces ont une sensibilité à l'égard des nématodes à kystes de pomme de terre (DaCunha et al., 2012). D'après Greco et al. (2007), la variété Spunta a démontré sa sensibilité à ces nématodes. Selon une étude menée par Djebroune (2019), la variété Désirée est un hôte favorisé en tant que témoin sensible, car toutes les populations de nématodes testées se sont bien développées sur cet hôte électif.
- Une jachère travaillée ; selon Szilvasi, (2013) pour une réduction du NK une jachère d'une durée minimale de 2ans est nécessaire.
- Une rotation équilibrée : les surfaces de pommes de terre sont généralement liées a ceux des céréales. Cela permet d'éviter de mettre en place la plante hôte quatre fois sur quatre. Hijink, (1972) a indiqué que la rotation des pommes de terre une fois tous les 4 ans est une excellente stratégie de gestion du NKPT, elle contribue aussi au changement de l'habitat des ravageurs en brisant ainsi leurs cycles et elle permet aussi le maintien du rendement et la qualité des cultures
- Le type de sol, dans un sol argileux la pénétration des J2 au niveau des racines est restreintes due a l'étroitesse des pores, contrairement aux sols légers ou les dommages sont plus graves (Schneider et Mugniery, 1971)
- La température : Selon Block et al (2009), la température du sol joue un rôle crucial sur le taux d'éclosion des larves L2, de plus, elle affecte de nombreux aspects du cycle de vie des NKPT, le développement au sein de la plante hôte, ainsi que le potentiel d'entamer et de maintenir une seconde génération pendant la même saison dans la culture. Les *Globodera spp.* Peuvent se développer à différentes températures moyennes, allant de 13°C à 29°C, selon ces mêmes auteurs.
- L'interaction avec les antagonistes naturels (chapitreVI, partie2)
- L'utilisation de produits chimiques (pesticides, engrais...)

# CHAPITRE 2

## Chapitre II : IDENTIFICATION, FREQUENCE D'OCCURRENCE ET DISTRIBUTION DES ESPECESDE *Globodera* sp

Le groupe *Globodera*, renferment plusieurs espèces de nématodes à kyste dont deux espèces inféodées a la culture de pomme de terre *G. pallida* et *G. rostochiensis* et dans le but d'identifier les espèces présentes dans les parcelles de pomme de terre de la région étudié, nous avons jugé utile de procéder à l'identification des espèces existantes au niveau des parcelles échantillonnées.

Pour cela, une diversité de 160 kystes appartenant a 8 populations de nématodes à kystes de la pomme de terre a été prise en considération pour conduire cette étude. Les kystes récupérés feront l'objet d'une étude morphométrique et anatomique. Les kystes sont conservées séparément dans des Ependorfs stériles référencés et dans des conditions ambiantes jusqu'à leurs utilisation.

Ainsi, les kystes pleins sont reconnus grâce à leur aspect turgescent et leur couleur foncé, tandis que les kystes vides c'est par leur couleur claire et l'aspect ridé de la cuticule. Les populations sont codées par des numéros allant de 1 à 8. Les informations concernant l'origine des populations, la variété utilisée et le précédent cultural sont fournies dans le tableau 5

**Tableau 6** : Caractéristiques des sites des nématodes à kystes identifiés.

Code de la Population	Région	Localités	Variétés de Pomme de terre	Précédant Cultural
1	Mascara	Teghanif	Kondor	Pomme de terre
2		Maoussa	Spunta	Tomate
3		Tizi	Spunta	Pomme de terre
4	Tiaret	Sebaine	Spunta	Céréales
5		Mahdia	Désiré	Céréales
6	SidiBelAbbés	Ténira	Désiré	Oignon
7	Mostaganem	Sirat	Spunta	Melon
8	Saida	Ouled Brahim	Spunta	Jachère

### 1. Matériel et méthodes :

#### 1.1. Analyse morphométrique

Après l'analyse de la forme, de la taille et la couleur des kystes, nous avons procédé à une étude morphométrique de 20 kystes représentatifs de chacune des populations. Les kystes sont 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 sous microscope de la longueur et de la largeur du corps et longueur du cou (Fig. 23).

Pour la détermination des deux espèces de *Globodera* sp, nous avons procédé à l'observation de la région périnéale, qui consiste à schématiser une coupe transversale du cône vulvaire du kyste.

L'identification basée sur la morphologie du cône vulvaire du kyste passe par plusieurs étapes (Righi, 2016).

- Coupe Transversale Au niveau de la partie postérieure du kyste préalablement nettoyé
- La coupe est vidée de son contenu à l'aide d'une aiguille lancéolée
- Trempage dans l'eau du robinet
- Tremper dans l'alcool 75° pendant quelques minutes
- Tremper dans l'alcool 95° pendant quelques minutes
- Tremper dans l'essence de girofle déposer des coupes dans une goutte étalée du baume de Canada sur une lame entourée de la paraffine
- Dépôt d'une lamelle sur la lame
- La préparation est chauffée jusqu'à ce que la paraffine fonde
- Lutage des préparations avec du vernis à ongles et observation microscopique

## 2. Résultats et Discussion :

La présence de deux espèces de *Globodera* a été identifiée grâce aux caractéristiques biométriques et aux observations effectuées sur le cône vulvaire, même si certaines espèces présentent des similitudes morphologiques. Toutefois, les informations relatives au cône vulvaire permettent une distinction préliminaire entre les différentes espèces. Par conséquent, il semble que les espèces *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* sont les agents responsables de l'infestation des différentes parcelles étudiées.

En se basant sur la couleur du kyste (doré et brun), une identification préliminaire a été faite ce qui nous a permis de distinguer les deux espèces de NKPT pour effectuer les mensurations

160 kystes de NKPT provenant de 8 localités ont été soumis à une analyse morphométrique. Les tableaux 7 et 8 regroupent les moyennes des critères morphométriques calculés avec celles de Fleming et Powers (1998) et OEPP (2013).



**Figure 24** : Biométrie du kyste (originale 2019)

**Tableau 7 :** Caractéristiques morphologiques de *G. pallida* et *G. rostochiensis*

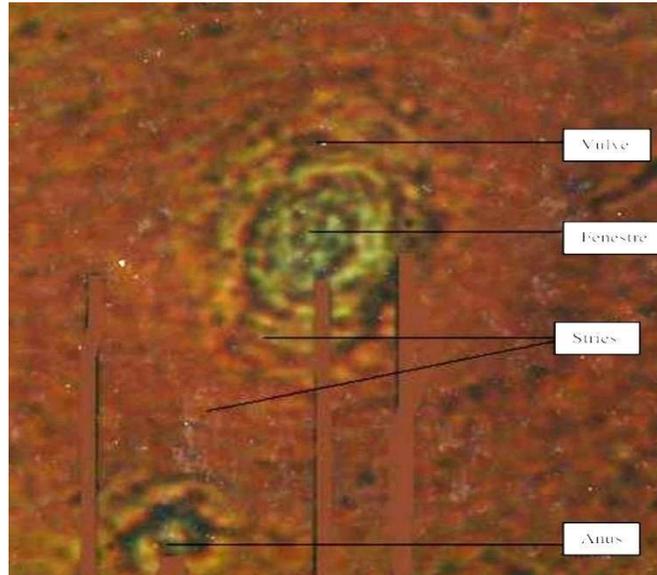
Codedelap opulation	Long(µm) (a)	Larg(µm) (b)	a/b	N(µm)	NSAFV	Identification del'espèce
1	425.00*± 96 (300- 630) **	400.00*± 75 (360- 690) **	1.062±0.08	63.00*± 24 (20- 88) **	13.50*±2. 50(9-19) **	<i>G. pallida</i>
2	403.0*± 54 (300- 720) **	380.00*±55(310- 690)**	1.06±0.08	54.00*±2 5 (20- 90) **	20.42*±3. 70 (13- 30) **	<i>G. rostochiensis</i>
3	500.00*± 14 (320- 780) **	440.00*±1 60 (300- 700) **	1.136±0.05	71.50*±2 1(10- 100) **	12.55*±3. 90 (8- 20) **	<i>G. pallida</i>
4	400.00*± 52 (320- 580) **	370.00*±1 10 (300- 620) **	1.081±0.04	50.50*±2 3(20- 100) **	19.20*±4. 00 (13- 30) **	<i>G. rostochiensis</i>
5	510.00*± 92 (300- 640) **	500.00*±76(320- 680)**	1.02±0.01	77.00*±27 .1 (45- 160) **	13.31*±3. 00(8-19) **	<i>G. pallida</i>
6	400.00*±1 01 (390- 620)**	412.00*±1 10 (330- 680)**	0.970±0.09	43.00*±20 .5 (30- 195)**	20.00*±2. 80 (12- 29) **	<i>G. rostochiensis</i>
7	470.00*±1 07 (300- 620) **	480.00*±1 01 (340- 680) **	0.979±0.03	77.30*±2 5(39- 125) **	13.60*±2. 20 (9- 20) **	<i>G. pallida</i>
8	361.00*± 54 (350- 590) **	390.00*±81(310- 580)**	0.925±0.09	55.20*±2 7(20- 130) **	20.43*±3. 70 (14- 30) **	<i>G. rostochiensis</i>

\*: moyenne ; \*\*: Valeurs min et max ; Long. = longueur du kyste ; Larg. = largeur du kyste ; N = longueur du cou ; NSAFV : Nombre de stries entre l'anus et le fenestre vulvaire

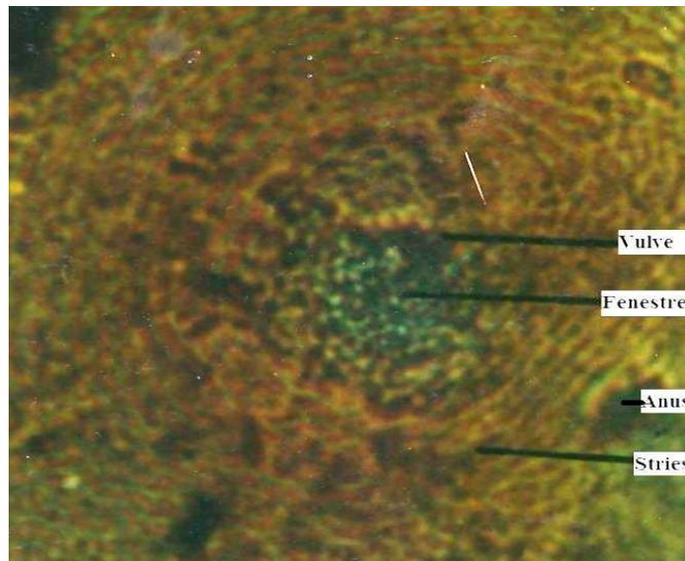
**Tableau 8 :** Évaluation des critères morphométriques de *G. pallida* et *G.rostochiensis*: Fleming et Powers (1998) ; 2 : EPPO (2013)

Critères morphologiques	<i>G. pallida</i>		<i>G. rostochiensis</i>	
Longueur du kyste	452-486		392-468	
Largeur du kyste	/	/	/	/
Longueur du cou	/	/	/	/
Nombre de stries entre l'anus et Le fenestre vulvaire	8-20(<14)	12-17	12-31(>14)	17-20
Références	1	2	1	2

/ : Pas de données



**Figure25** : Coupe transversale du cône vulvaire de *Globodera pallida* (Originale 2020)



**Figure26** : Coupe transversale du cône vulvaire de *Globodera rostochiensis* (Originale 2020)

Les résultats obtenus des observations microscopiques indiquent que la forme des kystes est arrondie, avec la présence d'un cou saillant. La couleur vire du marron pale au marron foncé. Concernant la taille des kystes, elle varie considérablement selon le contenu des kystes

L'identification morphométrique demeure un composant fondamental et ne requiert aucune démarche préliminaire ou substance chimique. Elle requiert un expert compétent et chevronné, ainsi qu'un matériel optique de haute résolution.

L'espèce, la plante hôte et les conditions agro-écologiques et géographiques influencent étroitement la taille des kystes (Righi, 2016).

On peut constater ces différences morphologiques des kystes entre les populations et au sein de la même population. Il est compliqué de distinguer les espèces de *Globodera* en se basant sur la coloration et la taille.

### 3. Analyse des données :

Afin de tirer plus d'information sur les relations qui existent entre les caractères morphométriques relatifs aux kystes, nous avons procédé à une analyse en composantes principales (ACP). Les résultats des corrélations obtenus sont reportés dans les figures 27 et 28. Après un ACP, les 2 premiers axes (71.71 % et 24.07 %) représentent une part considérable (95.78 %) de la variance totale (Tableau 8).

**Tableau 9** : Pourcentage de variances des axes

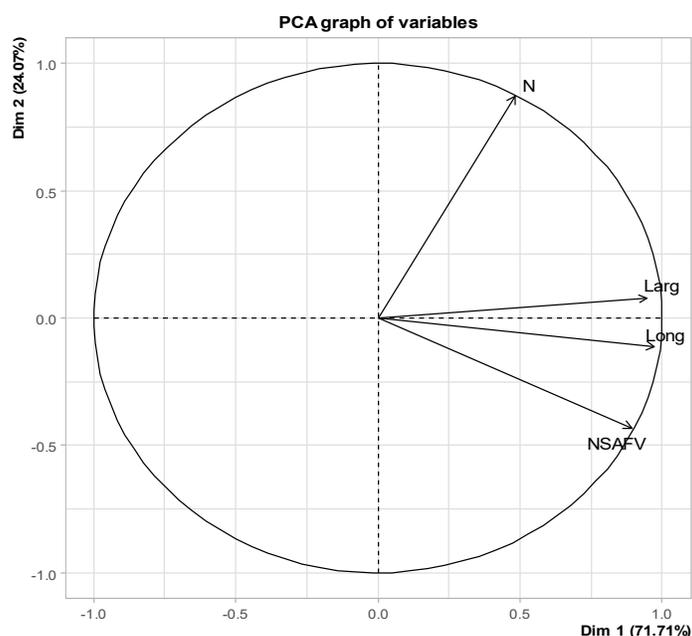
	<b>Eigenvalue</b>	<b>% Of variance</b>	<b>Cum.% of variance</b>
<b>Comp1</b>	2,87	71,71	71,71
<b>Comp2</b>	0,96	24,07	95,78
<b>Comp3</b>	0,15	3,66	99,44
<b>Comp4</b>	0,02	0,56	100,00

**Tableau 10** : Codronnées des variables sur le plan 1x2

<b>Variable</b>	<b>Coord.Dim.1</b>	<b>Coord.Dim.2</b>
Long	0,97250055	-0,11172537
Larg	0,9462985	0,07868812
N	0,48068892	0,87089765
NSAFV	0,89217984	-0,43090002

La projection des variables sur le plan 1×2 montre que toutes les variables sont positivement corrélées avec l'axe 1. 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, représentée par la figure 27, fait ressortir que les longueurs et les largeurs des kystes sont fortement corrélées. La variable N se distingue par une corrélation positive avec l'axe 2 (Figure 28).

Les corrélations entre Longueur (Long) et Largeur (Larg) des individus suggèrent une forte relation entre ces deux paramètres. Les autres variables (comme N ou NSAFV) pourraient être influencées par des facteurs spécifiques, expliquant leur contribution plus faible sur Dim 1 mais leur importance relative sur Dim 2.



**Figure27** : Projection des variables sur le plan factoriel (1x2)

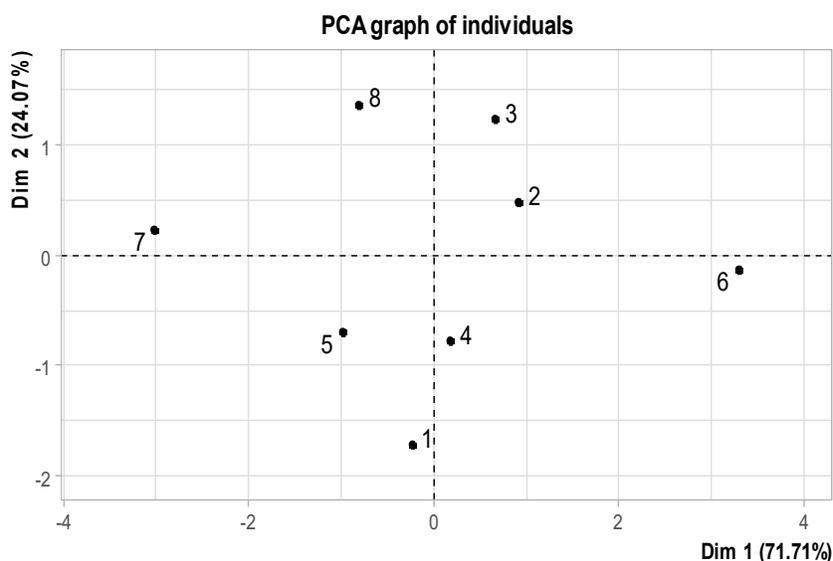
**Tableau11** : Cordonnées des individus sur le plan 1x2

Individus	Coord.Dim.1	Coord.Dim.2
1	-0,237	-1,720
2	0,918	0,482
3	0,664	1,230
4	0,180	-0,772
5	-0,986	-0,689
6	3,292	-0,123
7	-3,016	0,229
8	-0,817	1,364

L'ACP révèle des oppositions claires entre certaines populations : la Population 6 est fortement liée à des valeurs élevées sur Dim 1. La Population 7 s'oppose à la population 6, ce qui reflète des caractéristiques différentes. La Population 8 et 3 montrent des similitudes et s'opposent à Population 1, ce qui peut être dû à des facteurs morphométriques distincts, par

l'existence d'une variation des tailles des kystes au sein des différentes populations, notamment les populations de provenance de parcelles n'ayant pas les mêmes conditions agro-écologiques (techniques culturales, facteurs édaphiques...)

Le rapprochement observé entre les populations 2 et 3 pourrait être attribué à des conditions environnementales similaires dans ces deux populations, ainsi qu'à la présence des mêmes espèces et races.



**Figure 28** : Projection des individus sur le plan factoriel (1x2)

Aucun rapprochement n'a été enregistré pour les autres populations, même en présence de populations mixtes de *Globodera* (présence de deux espèces ; *G. pallida* et *G. rostochiensis*). Cela est dû aux différences morphologiques entre les populations de la même espèce et la présence probable de différents écotypes appartenant à *Globodera*

### 3. Distribution des nématodes à kystes de la pomme de terre (*Globodera* sp) :

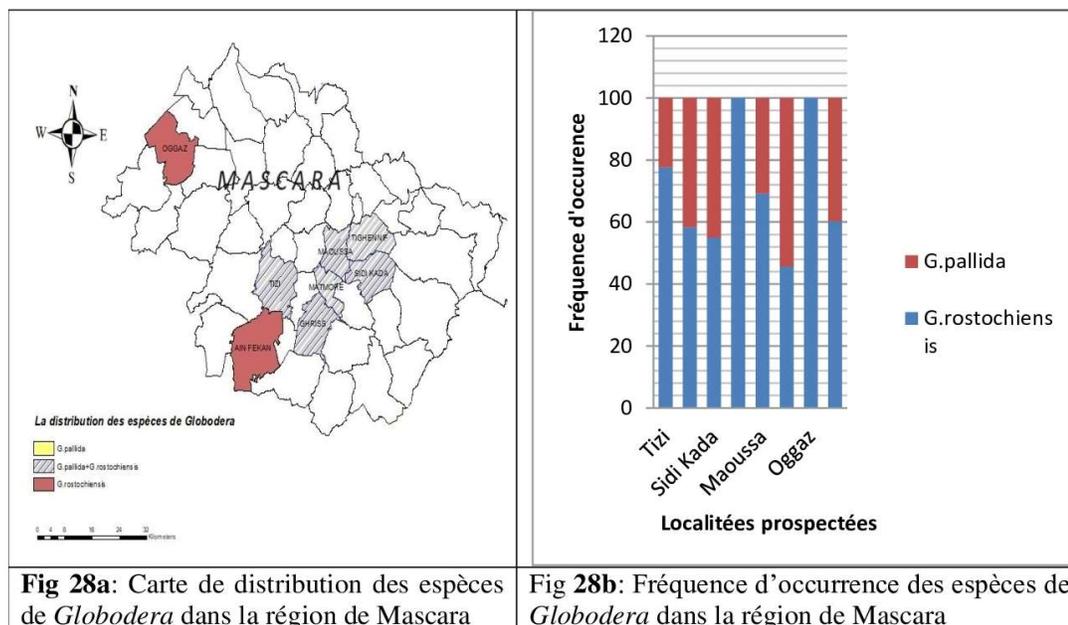
Nous avons effectué des prospections dans ces régions afin de collecter des informations sur le nématode à kyste de la pomme de terre (NKPT). Plusieurs analyses ont été effectuées sur les résultats obtenus pour créer des cartes de distribution des deux espèces de NKPT et estimer la fréquence d'occurrence de chaque espèce.

#### 3.1. Distribution des espèces de *Globodera* dans la région de Mascara

La figure 30 révèle que l'espèce de *Globodera rostochiensis* est présente dans 100% des localités prospectées.

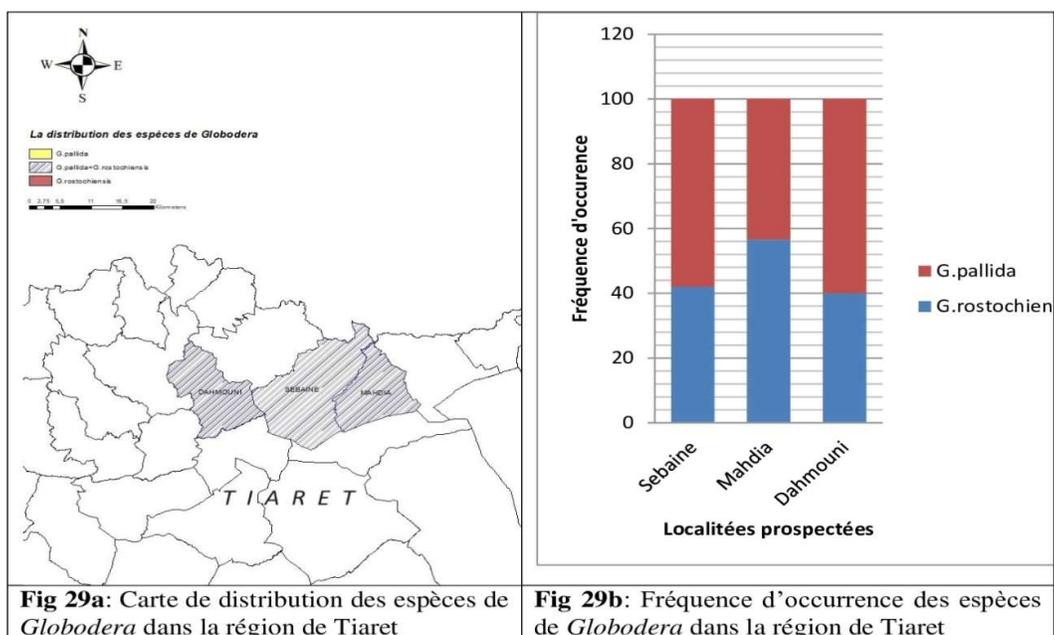
La présence de population mixte est détectée dans 75% des localités, une association des deux espèces a été enregistrée dans les localités de : Tizi, Teghanif, Sidi Kada, Maoussa et Ghriss avec une dominance de *G. rostochiensis* et à Matemore avec une dominance de *G. pallida*. Pour les localités d'Oggaz et Ain Fekan, on constate la dominance totale de *G. rostochiensis* (100%) dans les parcelles prospectées.

*Globodera pallida* semble moins présente par rapport à *G. rostochiensis*. Le taux la plus faible infestation de 22,33 % a été enregistrée dans la localité de Tizi. On remarque une légère dominance de cette espèce avec un taux de 54,28% à Matemore.



### 3.2. Distribution des espèces de *Globodera* dans la région de Tiaret :

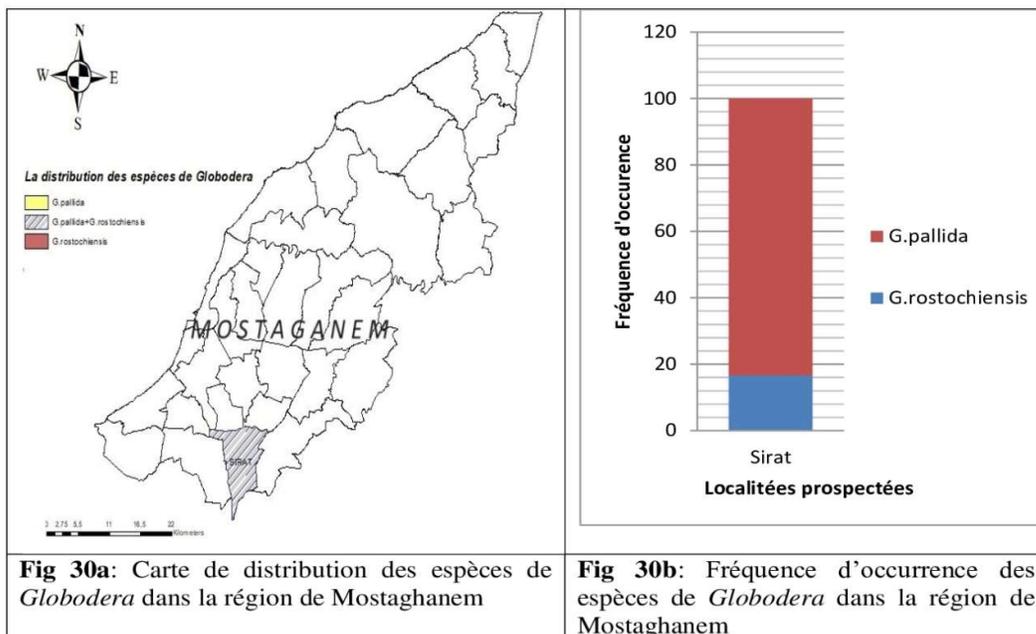
Le nématode à kystes de la pomme de terre (NKPT) dans la région de Tiaret (Fig.,30), est représentée par la présence des deux espèces, avec la dominance de *Globodera pallida* dans chacune des localités de Sebaine (57,94%) et Dahmouni (60%). L'espèce *G. rostochiensis* est plus fréquente dans la localité de Mahdia enregistrant un taux de 56,57%



### 3.3. Distribution des espèces de *Globodera* dans la région de Mostaganem :

L'analyse nématologique des échantillons du sol en provenance de la région de Mostaganem a révélé la présence d'une population mixte des deux espèces de *Globodera* dans la localité de Sirat, avec une dominance de l'espèce *Globodera pallida* enregistrant un taux de 83,3%, alors que le taux de présence de *Globodera rostochiensis* est de 16,7%.

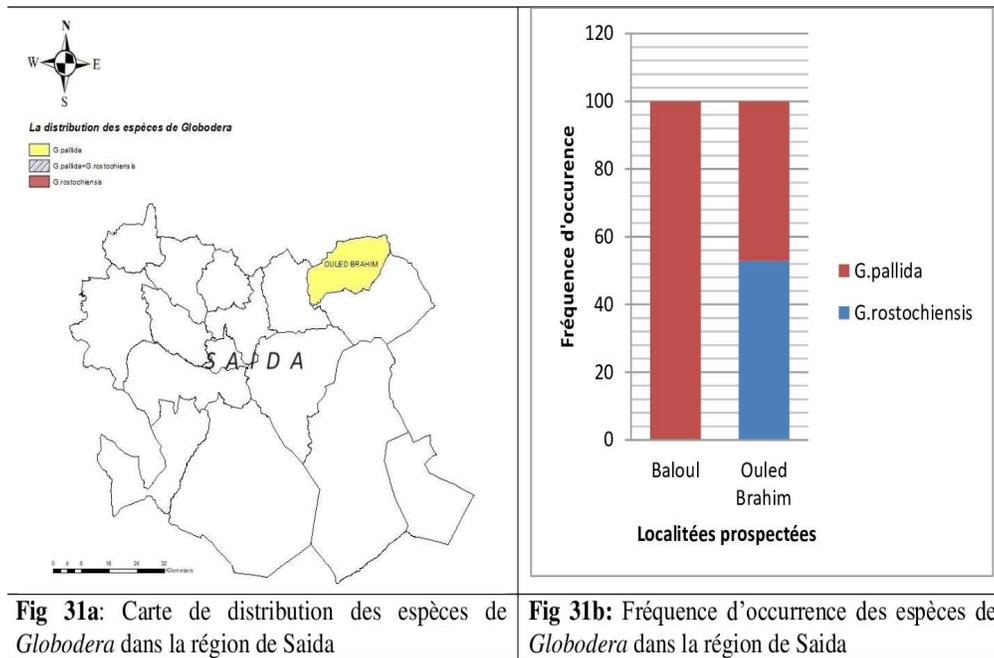
Le nombre de parcelles de pomme de terre et les communes prospectées jusqu'à présent reste insuffisant pour évaluer la distribution des deux espèces de *Globodera* dans la région de Mostaganem. La continuité des investigations est donc souhaitée pour avoir une idée plus précise sur la composante des populations de ce nématode.



### 3.4. Distribution des espèces de *Globodera* dans la région de Saida :

La figure 33 montre la distribution des espèces de *Globodera* dans les deux localités appartenant à la wilaya de Saida. Une dominance totale par *G. pallida* au niveau des parcelles prospectées dans Baloul, et la présence d'une population mixte avec un taux légèrement élevé de 52,9% pour *G. rostochiensis*

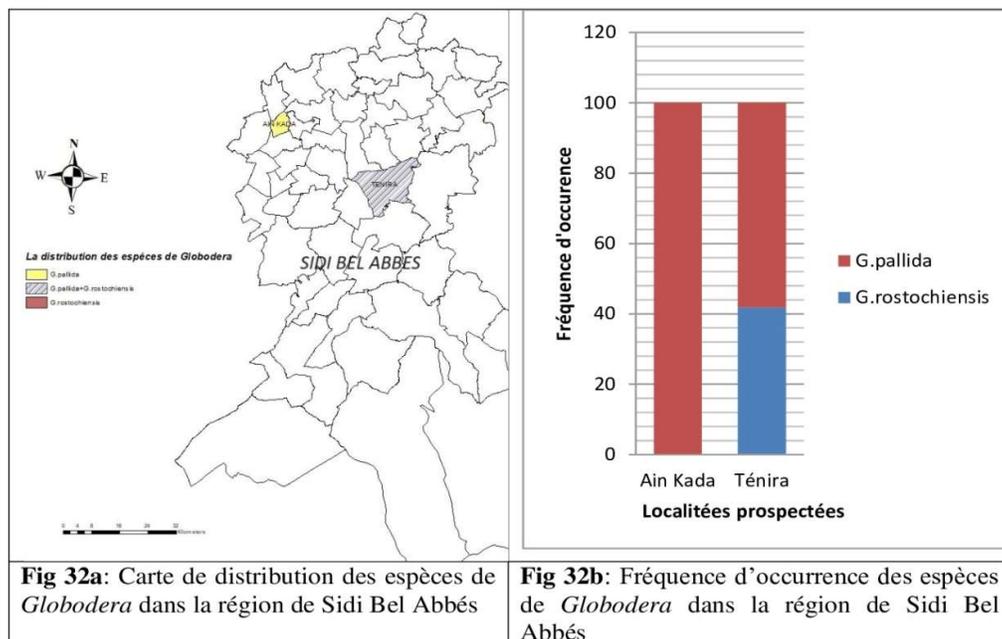
Le nombre de parcelles de pomme de terre et les communes prospectées jusqu'à ce jour Maintenant reste insuffisant pour évaluer la distribution des deux espèces de *Globodera* dans la région de Saida. La continuité des investigations est donc souhaitée pour avoir une idée plus précise sur la composante des populations de ce nématode.



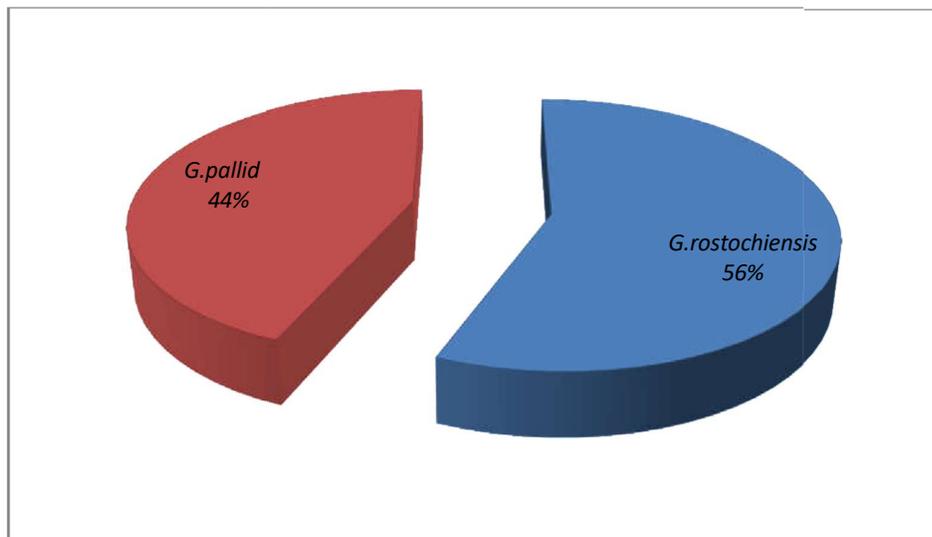
### 3.5. Distribution des espèces de *Globodera* dans la région de Sidi Bel Abbés :

L'étude des populations de nématodes à kystes de la pomme de terre dans la région de Sidi Bel Abbés a révélé la présence des deux espèces,

*G. pallida*, semble être l'espèce dominante qui colonise la plupart des parcelles de pomme de terre de cette région. Elle enregistre un taux de 100% pour la localité de Ain Kada, et un taux de 58,15% dans la localité de Ténira, *G. rostochiensis* a enregistré un taux de 41,84% dans cette dernière.



La répartition de *G. pallida* et de *G. rostochiensis* est mondiale et elles sont rarement présentes en tant qu'espèces distinctes, mais plus souvent en tant qu'espèces mélangées dans un même champ (Ibrahim et al., 2000, Ibrahim et El-Sharkawy, 2001, Ibrahim et al., 2004, Minnis et al., 2002).



**Figure34** : Répartition globale des espèces de *Globodera* identifiées dans les différentes communes étudiées.

L'interprétation de cette masse de donnée (Fig, 35) permet de déduire que, *Globodera rostochiensis* est exclusivement l'espèce la plus présente dans la majorité des localités exploitées (56,25%) soit 9 sur 16 communes.

*Globodera sp* est répandue dans toutes les régions où la pomme de terre est cultivée à travers le monde, ce qui explique la prédominance de l'espèce *G. rostochiensis* dans les échantillons. Cette espèce est parfaitement adaptée à différents biotopes et a la capacité de se développer sur les plantes hôtes.

Les cartes d'infestation et de distribution doivent permettre aux décideurs des services agricoles de suivre de manière prudente les cultures de pomme de terre, afin d'évaluer l'influence de ce nématode sur les rendements et le comportement de chaque variété cultivée envers ce nématode. L'objectif est de déterminer quelles variétés sont sensibles, tolérantes ou résistantes à ce nématode (Righi, 2016).

La longueur du jour, l'altitude la température, La pluviométrie et leur interaction avec la pomme de terre hôte sont les éléments qui influencent la répartition des nématodes a kyste *Globodera* à travers les différentes régions de culture de la pomme de terre (Franco, et al.1998).

# CHAPITRE 3

### CHAPITRE III : ETUDE BIO-ECOLOGIQUE DES KYSTES de *Globodera sp*

Selon Aubert, (1987), le taux de contamination du sol par les nématodes à kystes s'exprime en déterminant le nombre de kystes pleins et vides ou en comptant le nombre de larves ou d'œufs vivants à l'intérieur du kyste par gramme de terre.

Le même auteur soutient que la taille du kyste varie considérablement. Par conséquent, le potentiel infectieux manifesté par le contenu des kystes doit également varier considérablement d'un individu à un autre.

Or, le développement embryonnaire des œufs dans un kyste peut ne pas être homogène. Ainsi, nous avons été amenés à déterminer le contenu d'une population de kystes, en particulier le taux d'œufs en diapause et celui de mortalité.

Pour donner une importance scientifique au potentiel infectieux des parcelles étudiées, nous avons mené une petite étude sur le développement embryonnaire des populations de *Globodera sp*.

#### 1. Matériel et Méthodes :

Les populations concernées par cette étude appartiennent à cinq régions. Pour chaque population, 10 kystes sont sélectionnés de chaque localités (16 localités). Chaque kyste est placé dans un verre de montre puis écrasé afin de procéder au comptage des œufs et des larves (L2). Les observations sont faites à l'aide d'un microscope.

Les kystes striés subissent le test au new bleu R. Ils sont immergés dans une solution à 0.05 % de new bleu R et stockés à 5 °C dans de petits tubes. Quelques jours plus tard le colorant est remplacé par de l'eau du robinet et les kystes écrasés afin de libérer les œufs et les juvéniles.

Les juvéniles vivants apparaissent blanchâtres et translucides à l'intérieur du chorion de l'œuf ; au contraire, les individus morts se colorent, en général assez fortement, en bleu voire même en noir. Le contenu des œufs dont le développement embryonnaire n'est pas terminé présente les mêmes réactions que les juvéniles ; il est donc possible de différencier les œufs vivants et morts (Auert, 1987).

#### 2. Résultats :

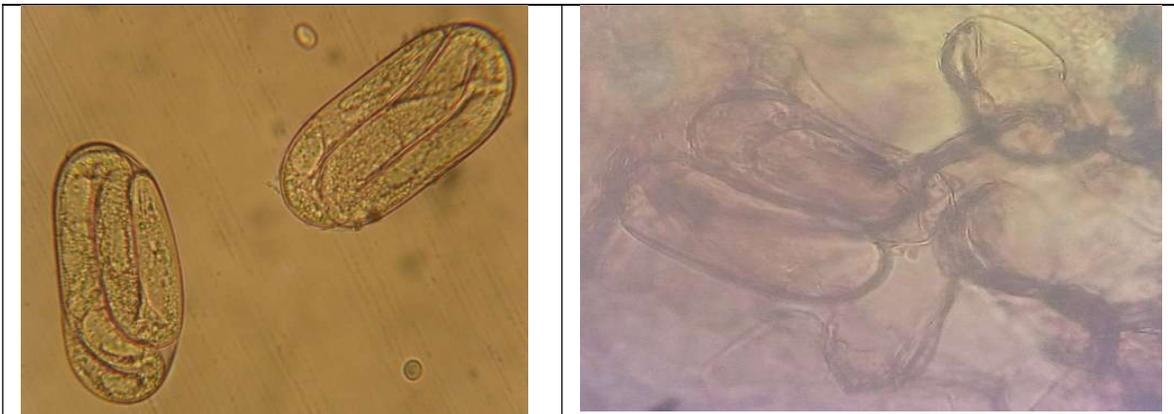
L'étude de la fertilité des femelles enkystées de différentes populations de *Globodera a* révélé que la valeur moyenne des œufs produits par les femelles varie entre 245 et 396 œufs (Tableau 11).

L'observation du contenu des kystes a permis de détecter 5 catégories (Fig, 36) : (œufs pleins embryonnés, œufs morts, larve L1, larve L2, et œufs vides) avec une dominance de la catégorie des œufs pleins embryonnés, qui enregistre un taux moyen de 62,72%, et aussi du taux de L1 par rapport au L2 (Tableau 11).

Ces valeurs montrent le potentiel infectieux des kystes de ces populations, qui est vraiment important.



<p><b>Fig35a</b> : Kyste plein de <i>G.sp</i> Écrasé. (Originale)</p>	<p><b>Fig35b</b> : Œufs contenant les L1 de <i>G.sp</i>. (Originale)</p>	<p><b>Fig35c</b> : Nématode de <i>G. sp</i>, L2. (Originale)</p>
---	--	--

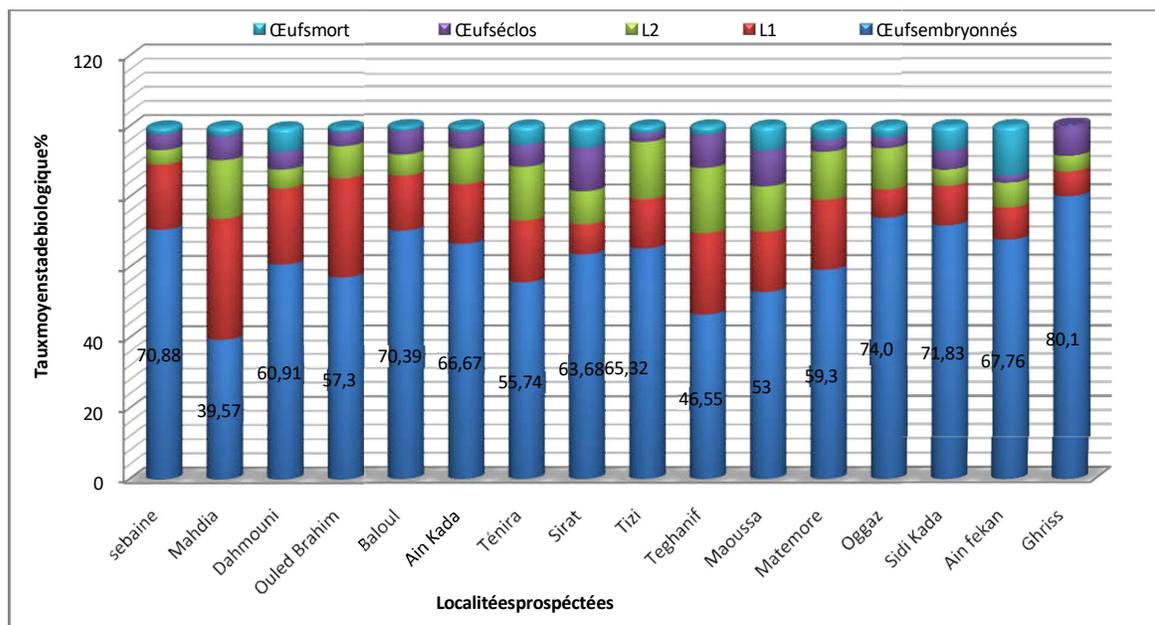


<p><b>Fig35d</b> : Œufs pleins embryonnés de <i>Globodera</i> <i>sp</i>. (Originale)</p>	<p><b>Fig35e</b> : Œufs éclos de <i>Globodera sp</i>. (Originale)</p>
--	---

**Tableau12** : Contenu moyen des kystes de *Globodera* sp. Dans les régions étudiées

Région	Localité	Nombre de kystes étudiés	Nombre d'œufs embryonnés	Nombre moyen de L1/kyste	Nombre moyen de L2/kyste	Nombre moyen d'œufs éclos/kyste	Nombre moyen d'œufs morts/kyste	Total
Tiaret	Sebaine	10	232	60,4	13,5	14,5	6,9	327,3
	Mahdia	10	157	136,5	65,9	27	10,4	396,8
	Dahmouni	10	169,7	60,3	15	14,6	19	278,6
Saida	Ouled Brahim	10	188	92,3	30	12,8	5	328,1
	Balloul	10	222	49	18,9	21,3	4,2	315,4
Sidi BelAbbés	AinKada	10	172,2	43,6	26	12,4	4,1	258,3
	Ténira	10	137	43	37,4	15,1	13,3	245,8
Mostaganem	Sirat	10	176	23,3	26	34,1	17	276,4
Mascara	Tizi	10	198	42,3	49,2	7,3	6,3	303,1
	Teghanif	10	135	67	53,6	27,3	7,1	290
	Maoussa	10	159	51,2	38,5	30,4	20,9	300
	Matemore	10	207	69,2	47,5	11,2	14,2	349,1
	Oggaz	10	258,8	28	41	10,3	11,6	349,7
	SidiKada	10	254	39,3	16,5	19,1	24,7	353,6
	AinFekan	10	174	23,2	18,2	5,2	36,2	256,8
	Ghriss	10	287	25	15,9	30,5	0	358,4

Dans la figure (35), les résultats sont exprimés en nombre moyen d'individus par catégories. Nous remarquons que le contenu moyen d'une femelle adulte de *Globodera* est de 312 individus



**Figure36** : Identification du contenu moyen des kystes (stades biologiques) des différentes populations de *Globodera*

Les catégories L1 et L2 représentent respectivement 16,87 et 10,31% de la contenance globale du kyste. Pour les œufs morts, cela indique un taux de 4,22%.

Les causes sont traitées dans le chapitre antagoniste des kystes de *Globodera*, le niveau de mortalité des œufs est variable passant de 0% dans la localité de Ghriss à 14,1% dans la localité de Ain Fekan

### **3. Discussion :**

Les oscillations du nombre de L1, L2, œufs éclos et œufs mort sont due a de nombreux facteurs ; facteurs environnementaux, les pratiques du sol, les interactions avec les antagonistes naturels, le choix du cultivar utilisé et les amendements et engrais. Il est indéniable que la meilleure information que nous puissions tirer de cette étude est la distribution du contenu de ces kystes dans les différentes catégories.

Le développement des œufs embryonnés semble donc possible si les conditions favorables sont maintenues tout au long du cycle végétatif de l'hôte. Cela entraîne une augmentation du nombre d'œufs avec un juvénile entièrement développé (Righi, 2016).

De cette manière, cette augmentation compense la baisse causée par l'éclosion partielle des œufs que nous avons obtenus lors de notre recherche. Cela suggère que le taux des œufs pleins vivants avec L2 peut continuer à augmenter. Ces données montrent aussi qu'une grande partie du Le contenu des kystes est en diapause, qui se révélera lors de la culture de l'année suivante (Righi, 2016).

### **4. Etude de l'influence de quelques facteurs é daphiques sur la fertilité et la fécondité**

Suite À l'étude de l'état d'infestation des parcelles par le Nématode à Kystes de pomme de terre (NKPT) au niveau des différentes communes de la région de Mascara, la fluctuation des degrés d'infestation est probablement due également à la nature du sol (paramètres édaphiques).

Le sol est le milieu de vie des nématodes phytoparasites. C'est un système complexe qui se constitue d'une phase solide (minéraux et matières organiques), d'une phase liquide et d'une phase gazeuse.

La texture, les composants minéraux, l'humidité, l'aération, le pH, la matière organique, la pression osmotique, les ions échangeables et le potentiel d'oxydoréduction sont les paramètres qui caractérisent un sol ils sont aussi les facteurs auquel sont soumis les nématodes. il est évident qu'un des facteurs de l'environnement n'intervient jamais seul mais en conjonction avec les autres.

Le but de cette expérimentation est d'étudier l'influence de quelques paramètres édaphiques sur les degrés d'infestation du nématode au niveau de quelques communes de la wilaya de Mascara. Trigiano, et Gray, (2004) avancent que la densité et le genre de nématodes sont

principalement influencés par la texture et la structure du sol.

#### **4.1. Matériel et méthode :**

##### **4.1.1. Échantillonnage et préparation des échantillons de sol :**

Nous avons prélevé 30 échantillons (8 échantillons élémentaires de chaque parcelle, sont mélangé pour former un seul échantillon de sol) provenant de 30 parcelles de 3 différentes communes de la wilaya de Mascara (Ghriss, Teghanif et Sidi Kada) à une profondeur qui varie de 20 à 30 cm selon le model en zigzag. Les échantillons collectés sont séchés à l'air libre, broyer manuellement avec un bâtonnet en bois pour éviter le broyage des carapaces qui peuvent causer une surestimation des pourcentages de calcaire total et tamisés à 2 mm à fin d'éliminer les éléments grossiers.

Cette étape est préliminaire pour effectuer les analyses physiques du sol. Ces derniers ont été réalisés au niveau du laboratoires de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique (L.R.S.B.G), département d'agronomie, faculté de la science de la nature et de la vie, université de Mustapha Stamboli, Mascara

##### **4.1.2. Analyses au laboratoire**

Pour réaliser l'objectif du présent travail quatre analyses (Matière organique, pH et CE) ont été effectuées au laboratoire de la faculté SNV de l'université Mustapha Stamboli Mascara

##### **4.1.2.1. Texture du sol : Granulometrie**

La texture est influencée par la dimension des particules du sol et leurs volumes correspondants. On distingue trois sortes de particules : le sable, le limon et l'argile (Également désignées sous le terme de glaise). On les différencie par leur dimension. Entre 50 $\mu$ m et 2000 $\mu$ m on a les sables (sables fins de 50 à 200  $\mu$ m et sables grossiers de 200 à 2000 $\mu$ m) les limons de 2 $\mu$ m à 50 $\mu$ m (Limons fins de 2 à 20  $\mu$ m, puis grossiers de 20 à 50  $\mu$ m) ; les argiles qui sont de taille inferieure a 2 $\mu$ m. Ici, on parle d'argile au sens de la taille, pas au niveau minéralogique. La texture est définie par les proportions relatives (%) de particules argileuses, limoneuses et sableuses qui constituent la terre fine du sol

#### **A. Préparation de l'échantillon :**

- Faire sécher 800 g d'échantillon à 105 °C pendant une nuit environ.
- Laisser refroidir au dessiccateur (minimum de 4 heures).

#### **B. Dosage :**

- Peser tous les tamis et la base.
- Monter la série de tamis en commençant par le bas dans la séquence suivante : base, tamis de 325

mesh (45 µm), de 250 mesh (63 µm), de 140 mesh (106 µm), de 100 mesh (150 µm), de 80 mesh (180 µm), de 35 mesh (500 µm), de 9 mesh (2,00 mm) et de 8 mesh (2,36 mm).

- Peser 600 g d'échantillon sec, noter le poids et transférer l'échantillon dans le tamis de 8 mesh (2,36 mm), puis fermer le couvercle.
- Placer le montage sur l'agitateur mécanique et le fixer solidement.
- Agiter pendant 15 minutes.
- Retirer le montage et le défaire.
- Peser chacun des tamis et la base contenant une fraction de l'échantillon.

Les résultats sont exprimés en pourcentage pour chaque fraction obtenue, selon l'équation suivante:

$$C = \frac{A-B}{D} \times 100$$

Où

**C** : Fraction de l'échantillon retenue sur un tamis (%)

**A** : Poids du tamis avec la fraction (g)

**B** : Poids du tamis vide (g)

**D** : Poids total de l'échantillon utilisé (g)

#### 4.1.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH joue un rôle essentiel dans le déplacement des ions italiqes, car il influence le nombre de charges négatives qui peuvent être mises en solution. (Yu et al 1989). Le pH a été mesuré par la méthode électrométrique à l'aide d'un pH-mètre de laboratoire, selon un rapport terre/eau de 1/2,5 (Christensen, 2001).

#### A. Mode opératoire du pH réel

- Peser 20 g de terre et les placer dans un bécher de 100 ml.
- Ajouter 50 ml d'eau distillée, bouillie et refroidie.
- Agiter pendant quelques minutes.
- Laisser reposer pendant 15 minutes, puis mesurer le pH de la suspension à l'aide d'un pH-mètre de laboratoire.

**Tableau13** : Les normes d'interprétation du pH

Norme	Interprétation
pH<4,5	Extrêmement acide
4,5<pH<5,5	Sol très acide
5,5<pH<6,5	Sol moyennement acide
6,5<pH<7,5	Sol neutre
7,5<pH<8,5	Sol moyennement alcalin
8,5<pH<9	Sol très alcalin
pH<9,5	Sol extrêmement alcalin

#### 4.1.2.3. Conductivité électrique (CE)

On mesure la conductivité électrique de l'extrait de sol dilué à 1/5, selon Baize (2000), il est nécessaire de la représenter en micro-siemens par centimètre ( $\mu\text{s/cm}$ ). On l'a mesurée à l'aide d'un conductimètre. L'unité de mesure communément utilisée est le Siemens ( $\text{S.cm}^{-1}$ ) exprimé souvent en  $\text{dS.m}^{-1}$ .

La conductivité électrique désigne l'aptitude d'une solution aqueuse à transporter le courant électrique. La conductivité est liée à la concentration de solides (les sels minéraux) dissous dans l'eau. De cette manière, à mesure que la concentration en soluté dissous augmente, la conductivité augmente également.

**Tableau14** : Classification de la salinité des sols en fonction de leurs effets sur la croissance et le rendement des plantes (Abrol et al. 1988).

Classe	CE ( $\text{dS.m}^{-1}$ )	Effets sur la croissance et le rendement des plantes
Non salin	0-2	Effets de la salinité négligeables.
Légèrement salin	2-4	Certaines plantes sensibles peuvent être affectées.
Modérément salin	4-8	La croissance et le rendement de la plupart des plantes sont restreints.
Fortement salin	8-16	Seules les plantes tolérantes au sel ne sont pas affectées.
Très fortement salin	>16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel ont une production ou un rendement

#### 4.1.2.4. Matière organique : PAF sans décarbonatation

Mode opératoire

- Dans des creusets (dont le poids est connu à l'avance), mettre une prise de terre 10 g broyée à 2 mm de chaque échantillon.
- Nous plaçons les échantillons dans une étuve pendant 24 heures, à une température de  $105^{\circ}\text{C}$ , pour éliminer l'humidité résiduelle.
- Préchauffer le four à moufle à  $450^{\circ}\text{C}$ .
- Placer les échantillons à  $450^{\circ}\text{C}$  pendant 4 heures.
- Après calcination, placer les échantillons dans un dessiccateur pendant 30 minutes pour assurer leur refroidissement.
- Après refroidissement dans un dessiccateur, peser à nouveau le creuset et enregistrez la nouvelle masse

**Tableau15** : La matière organique dans le sol

Taux de matière organique %	Évaluation
1,7 à 3	Modéré
3 à 5,15	Élevé
➤ 5,15	Tres élevé

Source: (Charmanand Roper. ;2000)

## 5. Traitement des données

Les statistiques descriptives des paramètres étudiés sont basées sur la description quantitative (le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation). Les statistiques descriptives ont été réalisées par Excel 2007

Deux groupes de variables ont été pris en considération dans notre étude, Variables liées aux ravageurs, le degré d'infestation (nombre des œufs et larves/gde sol) et variables liées aux paramètres physicochimiques des sols dans les parcelles étudiées. La zone d'étude est la wilaya de Mascara

Les informations recueillies ont été enregistrées dans une feuille de calcul Excel, où nous avons calculé la moyenne et l'écart type pour chaque variable. Afin de rechercher la corrélation entre les caractéristiques physico-chimiques du sol et le degré d'infestation

On pourrait considérer chaque variable comme une dimension distincte. L'utilisation de l'analyse en composantes principales permet d'extraire et de visualiser les données essentielles présentes dans une table de données multivariées.

L'ACP réduit cette information à quelques nouvelles variables, connues sous le nom de composantes principales. Ces nouveaux paramètres sont une combinaison linéaire des paramètres initiaux. Le nombre de variables principales est plus petit ou égal au nombre de composantes principales.

La variance et inertie totale d'un jeu de données est l'information contenue dans ce jeu. L'ACP vise à repérer les axes principaux ou composantes principales le long desquels la variation des données est la plus importante entre les données nematologiques et les caractéristiques physicochimiques du sol. (Mekhaneg, A. 2024)

Autrement dit, l'ACP limite les dimensions d'une donnée multivariée à deux ou trois composantes principales, qui peuvent être représentées graphiquement, en minimisant la perte d'informations qui expliquent la relation entre les nématodes et le sol (Lumivero. 2024)

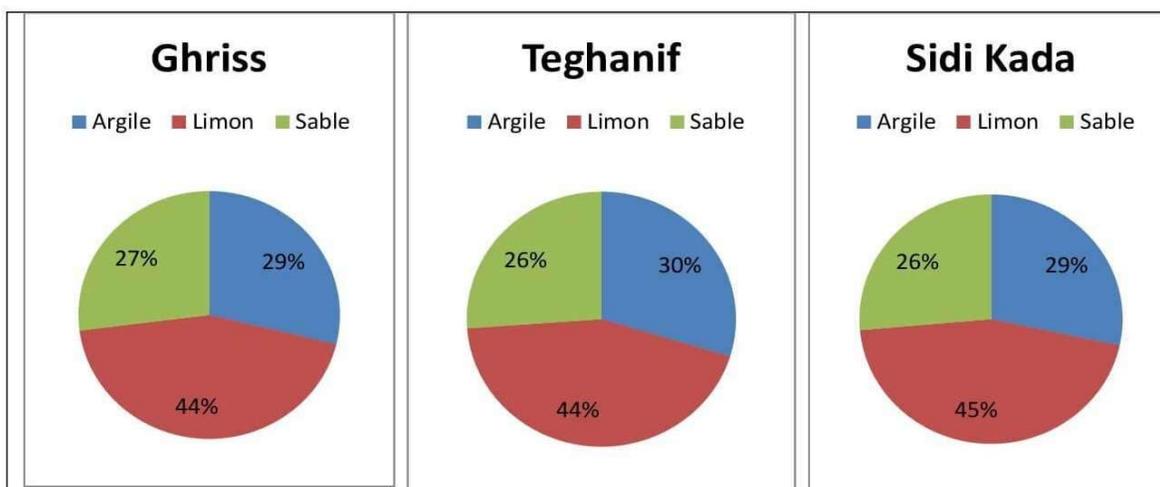
## 6. Résultats

### 6.1. Texture du sol :

D'après l'analyse granulométrique, on constate que le limon est la fraction la plus dominante avec une moyenne de 44% pour Ghriss et Teghanif et 45% pour Sidi Kada. En deuxième lieu vient l'argile avec une moyenne de 29% pour chacune des localités de Sidi Kada et Ghriss et une moyenne de 30% pour Teghanif tandis que le taux sable est faible 27% pour Ghriss et 26% pour Sidi Kada et Tighennif, le triangle de texture de Henin (1969) indique que les parcelles prospectées sont dotées d'une texture limonon-argileux, (Fig 38)

**Tableau16** : Valeurs des paramètres physico-chimiques étudiés

Région	Echantillons	M O (% )	pH	CE (dS.m- 1)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Oufs et larves par gramm e de sol
Ghriss	1	3,26	7,48	0,8	32	43	25	2
	2	2,94	7,75	0,9	31	43	26	6
	3	2,92	7,29	0,8	27	46	27	3
	4	3,50	7,3	0,8	25	47	28	0
	5	3,34	7,19	0,8	30	43	27	4
	6	3,59	7,75	0,8	31	43	26	1
	7	2,22	7,19	0,8	27	43	30	8
	8	2,61	7,95	0,8	26	45	29	6
	9	2,37	7,9	0,8	29	46	25	5
	10	1,92	7,89	0,8	30	43	27	6
Tighennif	11	3,26	7,69	0,5	31	43	26	4
	12	3,44	7,7	0,8	32	43	25	2
	13	2,12	7,65	0,6	30	43	27	5
	14	2,06	7,92	0,8	32	44	24	3
	15	2,89	7,72	1	26	46	28	4
	16	3,61	7,8	0,6	27	47	26	2
	17	2,21	7,91	0,8	31	45	24	2
	18	3,56	7,83	0,6	31	43	26	0
	19	1,69	7,86	0,9	30	43	27	6
	20	3,00	7,97	0,9	29	47	30	4
Sidi Kada	21	2,36	7,87	0,8	27	47	26	3
	22	2,12	7,45	0,9	27	47	26	6
	23	2,25	7,62	0,9	27	45	28	4
	24	2,82	7,33	0,8	30	43	27	3
	25	3,01	7,64	1,1	31	43	26	3
	26	1,98	7,39	1,2	28	45	27	8
	27	2,32	7,18	0,9	29	46	25	5
	28	3,00	7,57	0,7	27	47	26	4
	29	2,88	7,46	0,9	27	46	27	5
	30	2,19	7,11	0,8	31	43	26	6



**Figure 37** : Moyenne des pourcentages des fractions du sol examiné dans les 3 localités prospectées

Les statistiques générales des caractéristiques physicochimiques des sols des parcelles de pomme de terre sont représentées dans le tableau 17

**Tableau 17 :** Statistiques générale des différents paramètres physico-chimiques des échantillons de sol dans les parcelles de la pomme de terre selon leurs origines au sein des localités prospectées

Région	Ghriss					Teghanif					Sidi Kada				
	Min	Max	$\mu$	$\sigma$	Coef. de variati On	Min	Max	$\mu$	$\Sigma$	Coef. de variati on	Min	Max	$\mu$	$\sigma$	Coef. de variati on
M.O%	1,92	3,59	2,9	0,57	19,65	1,69	3,61	2,8	0,71	25,36	1,98	3,01	2,49	0,39	15,66
PH	7,19	7,95	7,57	0,31	4	7,65	7,97	7,8	0,11	1,41	7,11	7,87	7,46	0,23	3,08
CE (dS.m-1)	0,8	0,9	0,81	0,032	3,95	0,5	1	0,75	0,16	21,33	0,7	1,2	0,9	0,15	16,67
Argile%	25	32	28,8	2,39	8,29	26	32	29,9	2,02	6,75	27	31	28,4	1,71	6,02
Limon%	43	47	44,2	1,62	3,66	43	47	44,4	1,71	3,85	43	47	45,2	1,69	3,73
Sable%	25	30	27	1,63	6,04	24	30	26,3	1,82	6,92	25	28	26,4	0,84	3,18

$\sigma$ : écart-type,  $\mu$ :moyenne

### 6.2.pH :

En fonction des coefficients de variation, les variations dans le taux de pH sont très faibles. Le pH des parcelles prospectées fluctue entre 7,19 et 7,95, avec une moyenne de 7,75 et un coefficient de variation de 4% pour la région de Ghriss. Les niveaux de pH dans la localité de Teghanif sont entre 7,65 et 7,97, avec une moyenne calculée à 7,8 et un coefficient de variation a 1,41, tandis que pour la localité de Sidi Kada les valeurs fluctuent entre 7,11 et 7,87 avec une moyenne de 7,64 et un coefficient de variation de 3,08. Selon les interprétations des normes de Baize, D. (2000), 19 échantillons sont des sols moyennement alcalins tandis que 11 échantillons sont des sols neutres

### 6.3.CE :

Selon les résultats obtenus pour le paramètre de la conductivité électrique dans les parcelles prospectées, la valeur minimale était de 0,5 et la valeur maximale était de 1,12. Une moyenne de 0,81 a été calculée pour la localité de Ghriss avec un écart type de 0,032 et un coefficient de variation de 3,95. Pour la localité de Tighennif, une moyenne de 0,75 a été enregistrée avec un écart type de 0,16 et un coefficient de variation de 21,33. Concernant la commune de Sidi Kada la moyenne était de 0,9, avec un écart type de 0,15, et le coefficient de variation a 16,67.

Selon les normes de Abrol et *al.* (1988), représenté dans le Tableau 10, on peut conclure que les sols étudiés sont des sols non salins

### 6.4.Matière organique :

Les résultats d'analyses de la MO varient entre 1,92 % et 3,59 % avec une moyenne de 2,9 % et un coefficient de variation de 19,65 pour la localité de Ghriss.

Dans la localité de Tighennif le taux de MO fluctue entre 1,69% et 3,61% avec une moyenne de 2,8% et un coefficient de variation de 25,36. Tandis que pour la localité de Sidi Kada les valeurs de MO varient entre 1,98% pour la valeur minimale et 3,01% pour la valeur maximale avec une moyenne de 2,49% et un coefficient de variation de 15,66. D'après les critères d'interprétation de Charman et Roper, (2000), on peut constater que 20 échantillons ont un taux de MO modéré tandis que 10 échantillons présentent un taux de MO élevé appartenant au 3 localités.

## 7. Traitement des données

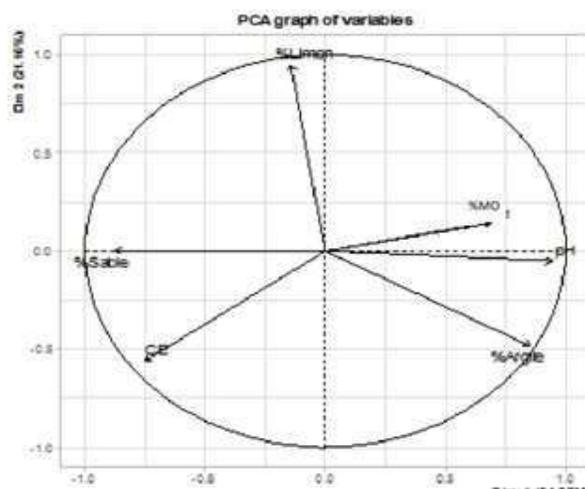
Dans le cadre de l'Analyse en Composantes Principales (ACP), le choix des deux premiers axes se justifie par leur capacité à expliquer une part importante de la variance totale des données. En pratique, on considère souvent qu'une ACP est pertinente lorsque les premiers axes expliquent ensemble au moins 70% de la variance, ce qui est ici atteint.

En réduisant la dimensionnalité à ces deux axes, on simplifie l'interprétation tout en conservant l'essentiel de l'information, ce qui permet de mettre en évidence les relations entre les variables et les observations sans perte significative.

L'analyse de la projection des variables sur le plan formé par les axes 1 et 2 (Figure 39 et 40) montre une relation inverse entre le % de sable, CE, limon et les variables pH, % d'argile, et matière organique (MO).

La flèche de %MO est proche de celle de % Argile, mais elles ne pointent pas exactement dans la même direction, cela suggère une corrélation modérée ou faible positive entre les deux variables. L'interprétation pourrait être que plus le pourcentage de matière organique dans le sol est élevé, plus le pourcentage d'argile peut également augmenter dans certains cas.

L'opposition entre % Argile et % Sable : Les flèches sont quasiment opposées, ce qui indique une forte corrélation négative. Cela est cohérent avec les caractéristiques des sols : un sol très riche en argile est généralement pauvre en sable et vice versa.



**Figure 38** : La projection des variables (facteurs édaphiques) sur le plan 1x2

L'analyse de la projection des individus sur le plan 1x2 (Figures 40 et 41) révèle que les individus 0, 4 et 5 partagent des caractéristiques similaires. De même, les individus 1 et 2 présentent un comportement homogène, mais différent des caractéristiques de l'individu 8.

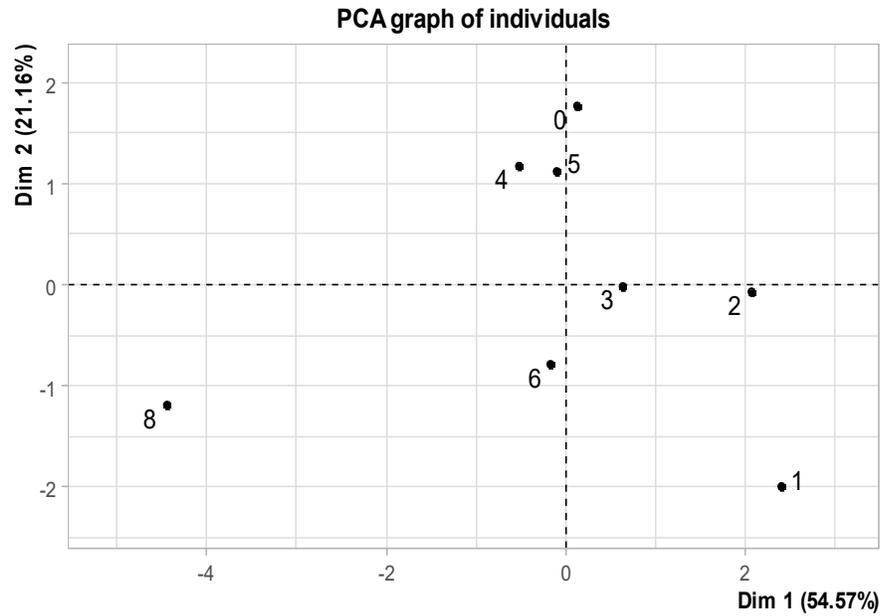


Figure 39 : La projection des individus (populations) sur le plan 1x2

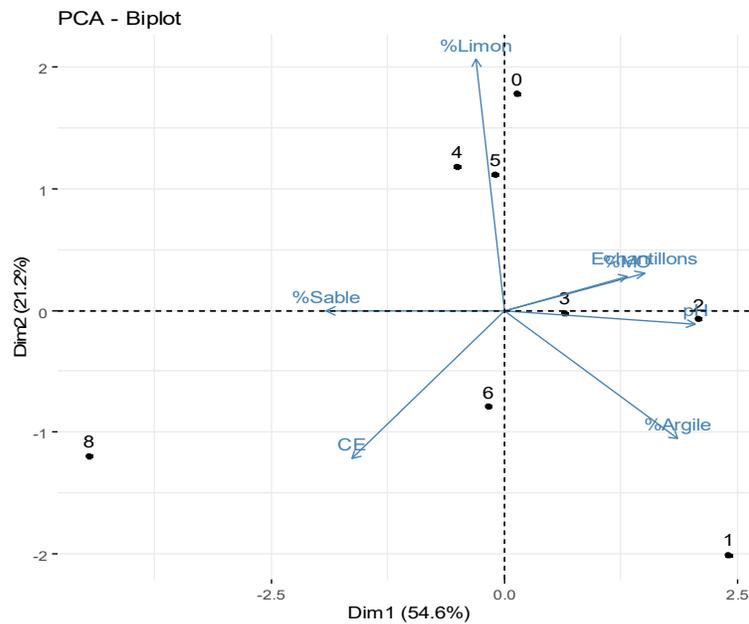


Figure40 : Projection biplot des variables et les individus

### 7.1. Matrice de corrélation :

**Tableau18 :** Matrice de corrélation linéaire entre les paramètres du sol et le degré d'infestation (Nombre d'œufs et de larves par gramme de sol) de sol dans les parcelles de pomme de terre infestées par le nématode *Globodera* sp.

	MO (%)	pH	CE (dS.m-1)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Œufs et larves par gramme de sol
MO%	1,000						
pH	-0,034	1,000					
CE (dS.m-1)	-0,331	-0,154	1,000				
Argile (%)	0,051	0,177	-0,155	1,000			
Limon (%)	0,013	0,060	0,124	-0,745	1,000		
Sable (%)	-0,017	-0,131	0,160	-0,575	0,123	1,000	
Œufset larves/gdes sol	-0,696	-0,194	0,372	-0,185	-0,070	0,341	1,000

L'analyse de la projection des variables et des individus sur le plan 1x2 révèle que le nombre d'œufs (4 et 5) est associé à des sols caractérisés par un pourcentage élevé de limon, un faible pourcentage d'argile, et une conductivité électrique (CE) faible. En revanche, le nombre faibles d'œuf (1 et 2) est lié à des sols présentant des pourcentages élevés d'argile, de matière organique (%MO), un pH élevé, ainsi qu'un pourcentage de sable faible.

En résumé, on peut conclure que les nombres faibles d'œuf (1 et 2) sont observés dans des sols avec un pourcentage élevé d'argile, de matière organique, un pH élevé, et un faible pourcentage de sable. À l'inverse, les nombres d'œufs élevés (4 et 5) sont présents dans des sols avec un pourcentage élevé de limon et un faible pourcentage d'argile

### 8. Discussion :

Comme pour les communautés microbiennes (Norton, 1989 ; Cadet et al., 2004), la répartition spatiale de certaines espèces de nématodes est influencée par le type et les caractéristiques abiotiques des sols. La relation mésologique entre les nématodes et le type de sol est bien connue depuis longtemps et de nombreux auteurs ont constaté que la répartition des nématodes phytoparasites est liée au sol (Cadet, 1998).

Selon le même auteur, les communautés de nématodes présentes dans les sols sableux diffèrent souvent de celles que l'on rencontre dans les sols argileux pour une même plante.

Schneider et Mugniery, (1971) rapportent que les sols légers, aérés et poreux sont plus favorables au développement de ces nématodes que les sols lourds. Le sol limono-argileux présente une forte teneur en argile, ce qui lui confère la caractéristique d'être asphyxiant en raison de la réduction de la macroporosité. Toutefois, il est extrêmement abondant en nutriments car il possède un pouvoir de fixation élevé.

En 1988, Castagnone et ses collègues ont montré que la présence de matière organique peut entraîner une diminution du potentiel reproducteur des femelles de *Meloidogyne incognita* sur tomate. La décomposition et l'accumulation de la matière organique dans le sol favorise la stimulation de l'activité antagoniste des microorganismes contre les nématodes phytoparasite, en agissant principalement comme un produit nématicide. Selon Ferris et al, (1996), l'incorporation de matière organique dans le sol, stimule l'activité microbienne

D'après Wang et al (2001), l'ajout de crotalaire (*Crotalaria juncea*) au sol a favorisé la prolifération des champignons prédateurs de nématodes et des champignons parasites des œufs de *Rotylenchulus reniformis*, en favorisant l'activité antagoniste, cependant l'intensification des cultures peut réduire les niveaux de MO des sols, ce qui entraîne une diminution de leur fertilité et leur sensibilité à la dégradation (Annabi *et al*, 2009).

Selon une étude menée par Osseni et al 1997, sur l'influence du pH sur les populations du nématode *Pratylenchus brachyurus*, le pH du sol aurait une influence significative sur la croissance des racines d'ananas. Un pH élevé entraîne une diminution des populations de nématodes. Les populations de nématodes les plus basses ont été constatées lorsque le pH du sol atteint 6 unités, et d'après leurs résultats un pH acide (entre 4,2 et 4,5) favorisera le développement des populations de ce nématode.

Cette étude a mis en évidence l'importance d'un chaulage pour le maintien d'un pH compris entre 5,5 et 6,0. cette méthode est considérée comme l'une des mesures pratique et économiques pour la gestion des populations de nématodes dans le sol chez les petits agriculteurs qui n'ont pas les ressources financières nécessaires pour effectuer des traitements nématicides chimiques (Osseni et al., 1997)

L'éclosion des œufs des nématodes à galles est favorisée par les sols neutres ou plus ou moins acides, mais avec un pH au-dessous de 5,2, cette dernière est inhibée (Ferris et Van Gundy 1979).

La présence excessive de sels minéraux dans les sols cultivés perturbe les processus physiologiques des plantes. De plus, La salinité est un obstacle majeur à la productivité agricole. Par conséquent, le processus de germination des graines est principalement affecté par la salinité. En effet, en fonction du niveau de salinité du sol, la germination des tubercules de pommes de terre peut être retardée de 3 à 7 jours (Levy D et al., 1982).

Robinson et Heal (1956, 1959), Ellenby et Gilbert (1957, 1958) et Dropkin et al. (1958) ont suggéré que les ions métalliques peuvent être impliqués dans le mécanisme d'éclosion du nématode à kyste de la pomme de terre *Globodera rostochiensis*. Atkinson et Ballantyne (1979) ont relancé l'hypothèse selon laquelle le  $Ca^{2+}$  en particulier joue un rôle actif dans le déclenchement de l'éclosion. Robinson et Neal (1956, 1959) ont suggéré qu'un mélange d'ions  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$  et  $K^{+}$  est essentiel pour une activité maximale du facteur d'éclosion.

# CHAPITRE 4

## **CHAPITRES VI : RECHERCHE PRELIMINAIRE SUR LES ANTAGONISTES NATURELS DU NEMATODE A KYSTE DE LA POMME DE TERRE *Globodera sp***

L'étude des bactéries et des champignons associés aux plantes et de leur potentiel antagoniste est importante non seulement pour comprendre leur rôle écologique et leur interaction avec les plantes, mais aussi pour toute application biotechnologique

Les micro-organismes associés aux plantes ont été largement étudiés pour leurs rôles dans la suppression naturelle et induite des maladies et parasites transmises par le sol. Parmi les nombreux groupes de ces organismes, on trouve les bactéries et les champignons associés au sol

La région étudiée était composée de quatre régions productrices : Mascara, Saida, Tiaret et El Bayadh.

Au total, 64 échantillons élémentaires de sol (quatre échantillons par parcelle) ont été prélevés de 2017 à 2018 dans 16 parcelles de pomme de terre, d'une superficie de 3 à 5 ha, caractérisées par une période de culture minimale de 10 ans.

### **1. Matériel et méthodes :**

#### **1.1. Isolement des antagonistes naturels des kystes de *Globodera spp* :**

##### **1.1.1. Isolement des bactéries**

Vingt kystes provenant de chaque site ont été sélectionnés au hasard au microscope en excluant ceux qui étaient petits et endommagés (Righi, 2016). Ils ont été désinfectés dans une solution de NaOCl (1%) pendant 1 minute et rincés cinq fois avec de l'eau distillée stérile dans un verre de montre (Heungens K et al., 1996). Ensuite, ils ont été séchés à l'air à température ambiante dans un verre de montre, puis émergés dans 4 tubes à essai, 20 kystes par tube, contenant 5 ml de bouillon nutritif dans des conditions stériles. Les tubes ont été scellés et incubés à 35 °C/24 h.

L'isolement des bactéries par la méthode des stries a été effectué sur la surface de 5 boîtes de Pétri comprenant de la gélose nutritive pour chaque tube à essai (Sanders, 2012). Les boîtes de Pétri ont ensuite été incubées à 30 °C/72 h et examinées toutes les 24 h. La pureté des bactéries a été établie par des sous-cultures successives des colonies isolées. Les colonies bactériennes ont été repiquées sur une gélose nutritive et conservées à +4 °C.

La caractérisation des bactéries isolées est basée sur les caractères morphologiques des colonies.

### 1.1.1.1. Identification des bactéries par la méthode MALDI-TOF-MS

La spectrométrie de masse par désorption laser à temps de vol assistée par matrice (MALDI-TOF-MS Biotyper, Bruker Allemagne) MALDI-TOF MS repose sur la détection du rapport masse/charge, abrégé en  $m/z$ , des protéines ribosomiques des bactéries pour générer rapidement et efficacement un spectre de masse unique (Carbonnelle,2011). L'identification est déterminée en comparant le spectre avec les spectres des souches de référence, afin de trouver la correspondance la plus proche (Popovic et al., 2017).

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel associé à l'appareil en comparant la correspondance de l'indice de fiabilité entre le spectre de la bactérie analysée et les spectres de la base de données. La correspondance des profils a été exprimée sur une échelle logarithmique avec des valeurs de score allant de 0 à 3.

**Tableau 19** : Signification des valeurs des scores (échantillon standard)

Rang	Description	Symbole
2.300...3.000	identification d'espèces hautement probables	(+++)
2.000 ... 2.299	identification sûre du genre, identification probable de l'espèce	(++)
1.700 ... 1.999	identification probable du genre	(+)
0.000 ... 1.699	identification non fiable	(-)

Les valeurs de score ont été interprétées conformément aux instructions du fabricant les valeurs de score de 2,3 à 3,000 indiquent une identification très probable au niveau de l'espèce. Les valeurs comprises entre 2,00 et 2,299 correspondent à une identification du genre et à une identification probable au niveau de l'espèce, et les valeurs comprises entre 1,70 et 1,999 correspondent à une identification probable au niveau du genre.

### 1.1.2. Isolement des champignons

Les kystes sont préalablement désinfectés dans une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl) à 0,1 % pendant 5 min, ensuite transférés dans une solution de streptomycine à une concentration de 100  $\mu$ l/l pendant 15 min puis dans de l'eau distillée stérile pendant 5 min.

Les champignons ont été isolés en plaçant les kystes dans des boîtes de Pétri Contenant du milieu Potato Dextrose Agar à raison de 5 kystes par boîte de Pétri (cinq kystes sont placés, un au centre et le reste aux quatre coins de la boîte). Quatre répétitions ont été effectuées pour chaque traitement.

Les boites ont été incubées à température ambiante (27 °C) pendant trois à quatre jours. Ces dernières sont transférées dans une autre boîte de Petri contenant un milieu gélosé (PDA) pour leur purification et identification.

### **1.1.2.1. Repiquage des champignons :**

Le repiquage des souches ainsi obtenues se fait par prélèvement à l'aide d'emporte-pièce d'un explant mycélien de 6 mm de diamètre que l'on dépose au centre d'une nouvelle boîte de Petri contenant le milieu PDA, qu'on laisse incuber pendant 5-7 jours à  $20 \pm 2$  °C.

### **1.1.2.2. Purification des champignons antagonistes**

Dans le but d'identifier et de caractériser les champignons antagonistes, il est nécessaire de purifier les souches obtenues. La technique de la culture mono-sporale permet d'obtenir une culture pure du champignon à partir d'une seule spore consistant à prélever un explant mycélien de 6 mm de diamètre à partir de la périphérie de la boîte et l'introduire dans un tube contenant 10 ml d'eau distillée stérile.

Après agitation, une suspension sporale est obtenue à partir de laquelle des dilutions au dixième sont réalisées : 1 ml de la suspension sporale est prélevé puis introduit dans un tube contenant 9 ml d'eau distillée stérile. A partir des deux dernières dilutions ( $10^{-3}$  et  $10^{-4}$ ), 1 ml est prélevé puis étalé à l'aide de pipette stérile sur milieu PDA.

Après 24 h d'incubation à  $20 \pm 2$  °C, la délimitation des spores en germination est effectuée sous loupe binoculaire. Ces dernières sont prélevées puis déposées dans de nouvelles boîtes de Petri contenant du milieu PDA. Les cultures sont ensuite incubées à une température de  $20 \pm 2$  °C pendant une semaine (Rappily, 1968) et puis conservées.

### **1.1.2.3. Identification morphologique :**

L'identification des champignons isolés est basée sur la clé de détermination de Barnett et Hunter (1998). Cette clé prend en considération les systèmes de classification de Saccardo et de Hughes-Tubaki-Barron respectivement basés sur les caractéristiques morphologiques des conidies et sur l'ontogénie sporale, conduisant à la détermination des genres.

La caractérisation des bactéries isolées est basée sur les caractères morphologiques des colonies : La forme, la couleur, la taille, le relief, le type de bordure, l'opacité et la présence ou l'absence du mucus.

### **1.1.2.4. Identification microscopique :**

Pour l'observation microscopique, une très petite quantité du champignon est colorée avec du bleu de lactophénol pour une meilleure visualisation des cellules et des composants cellulaires au microscope. L'observation microscopique permet d'identifier la couleur, la forme, l'apparence et la disposition des structures fongiques (Salvamani et Nawawi, 2014).

Les cultures doivent être contrôlées fréquemment pour éviter toute contamination. L'inoculum est transféré d'une culture de champignon en croissance active à des boîtes de Pétri enveloppées de Parafilm pour réduire la dessiccation du milieu PDA. (Nakasone, 2004)

### **1.1.2.5. Fréquence des champignons**

La distribution des isolats fongiques est estimée par le rapport de fréquence (FR). Il a

été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$FR = \frac{\text{total number of isolation of an isolate}}{\text{total number of isolates}} \times 100$$

## 2. Résultats

### 2.1. Identification microscopique, physiologique et biochimique des bactéries

L'identification microscopique, physiologique et biochimique de quarante isolats appartenant à deux genres a été résumée dans le tableau 20 (*Bacillus spp*) et le tableau 21 (*Pseudomonas spp*).

**Tableau 20** : identification microscopique, physiologique et biochimique de *Bacillus*

IC	1	2	3	4	5	6	7
B1	Bacilli	+	+	+	+	+	-
B2	Bacilli	+	+	+	+	+	-
B3	Bacilli	+	+	+	+	+	+
B4	Bacilli	+	+	+	+	+	+
B5	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B6	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B7	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B8	Bacilli	+	+	+	+	-	+
B9	Bacilli	+	+	+	+	+	-
B10	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B11	Bacilli	+	+	+	+	+	+
B12	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B13	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B14	Bacilli	+	+	+	+	+	-
B15	Bacilli	+	+	+	+	+	-
B16	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B17	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B18	Bacilli	+	+	+	+	+	-
B19	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B20	Bacilli	+	+	+	+	+	+
B21	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B22	Bacilli	+	+	+	+	-	nd
B23	Bacilli	+	+	+	+	+	+
B24	Bacilli	+	+	+	+	+	-
B25	Bacilli	+	+	+	+	-	nd

IC : Code des isolats ; 1 : Morphologie des cellules ; 2 : Test de Gram ; 3 : Présence d'endospore ; 4 : Catalase ; 5 : Oxydase ; 6 : Amidon hydrolysis ; 7 : VP (Voges-Proskauer reaction) ; nd : non déterminé

Les isolats de *Bacillus spp*. Représente 62,5 % (25 isolats) et ceux de *Pseudomonas spp* 37,5 % (15 isolats). L'examen de la morphologie cellulaire a révélé que tous les isolats étaient des bacilles répartis en deux groupes : Les bactéries à Gram positif incluant le groupe *Bacillus spp* et les bactéries à Gram négatif formant le groupe *Pseudomonas spp*.

Les tests d'identification effectués pour chaque groupe selon le manuel de bactériologie déterminative de Bergey ont révélé que pour le premier groupe de bactéries Gram positives, tous

les 25 isolats étaient positifs à la catalase et à l'oxydase et formaient des endospores. 11 isolats étaient hydrolysés par le strach et 6 présentaient des résultats positifs à la réaction VP.

Pour le deuxième groupe de bactéries Gram négatives, tous les 15 isolats étaient négatifs pour la fermentation du glucose. 9 isolats ont montré une réaction positive au pigment fluorescent jaune diffusible et une réaction négative au pigment fluorescent bleu non diffusible.

**Tableau21** : Identification microscopique, physiologique et biochimique de *Pseudomonas*

IC	1	2	3	4	5	6
P1	Bacilli	-	-	+	-	-
P2	Bacilli	-	-	-	Nd	nd
P3	Bacilli	-	-	-	Nd	nd
P4	Bacilli	-	-	+	-	+
P5	Bacilli	-	-	-	Nd	nd
P6	Bacilli	-	-	+	-	-
P7	Bacilli	-	-	+	-	-
P8	Bacilli	-	-	-	Nd	nd
P9	Bacilli	-	-	+	-	+
P10	Bacilli	-	-	+	-	-
P11	Bacilli	-	-	-	Nd	nd
P12	Bacilli	-	-	+	-	-
P13	Bacilli	-	-	+	-	+
P14	Bacilli	-	-	-	Nd	nd
P15	Bacilli	-	-	+	-	+

IC : code des isolats ; 1 : morphologie des cellules ; 2 : test de Gram ; 3 : Glucose fermentation (TSI) ; 4 : Pigment fluorescent jaune diffusible (fluorescéine) ; 5 : pigment fluorescent bleu non diffusible (pyocyanine) ; 6 : Nitrate reduction ; nd : non déterminé

## 2.2. Identification des bactéries par typage MALDI-TOF-MS

Huit espèces de bactéries ont été analysées par MALDI-TOF-MS. Les spectres de masse obtenus à partir d'isolats bactériens de *Bacillus* (B1, B2, B15 et B20) et de *Pseudomonas* (P1, P2, P3 et P4) sont présentés dans la figure 41. Ces spectres étaient significativement différents. Une empreinte spectrale de masse unique a été produite pour chaque isolat dans la gamme de masse m/z 200 à 17 000.

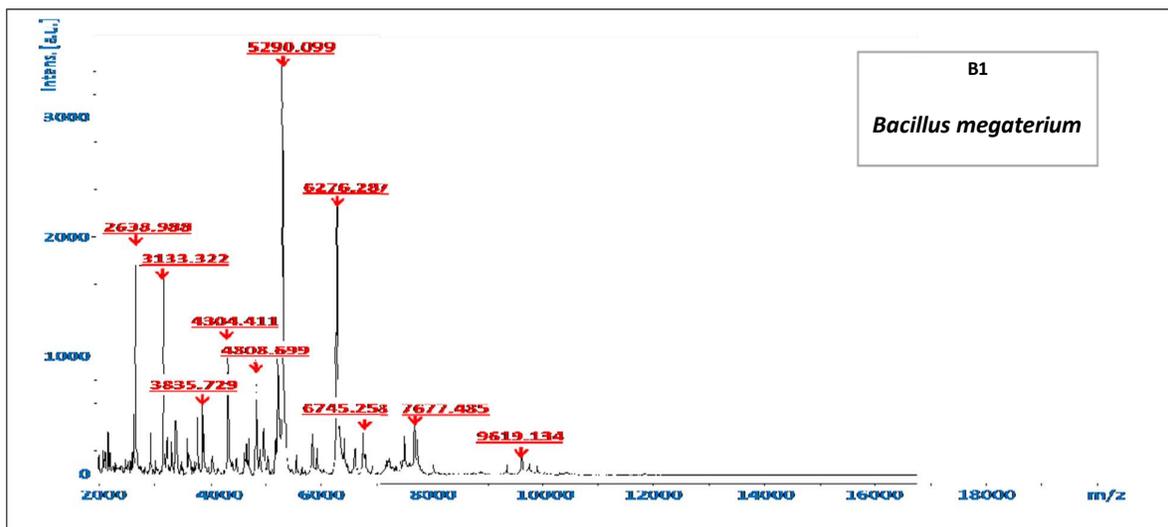
La majorité des ions détectés étaient supérieurs à 200 Da. Les spectres de masse obtenus à partir d'isolats bactériens de *Bacillus* et *Pseudomonas* ont également révélé une diversité parmi les isolats de *B. megaterium* (B1 et B15). Les signaux B1 ont été observés près de 5300 m/z pour le pic moléculaire et 6300 m/z pour le pic de base.

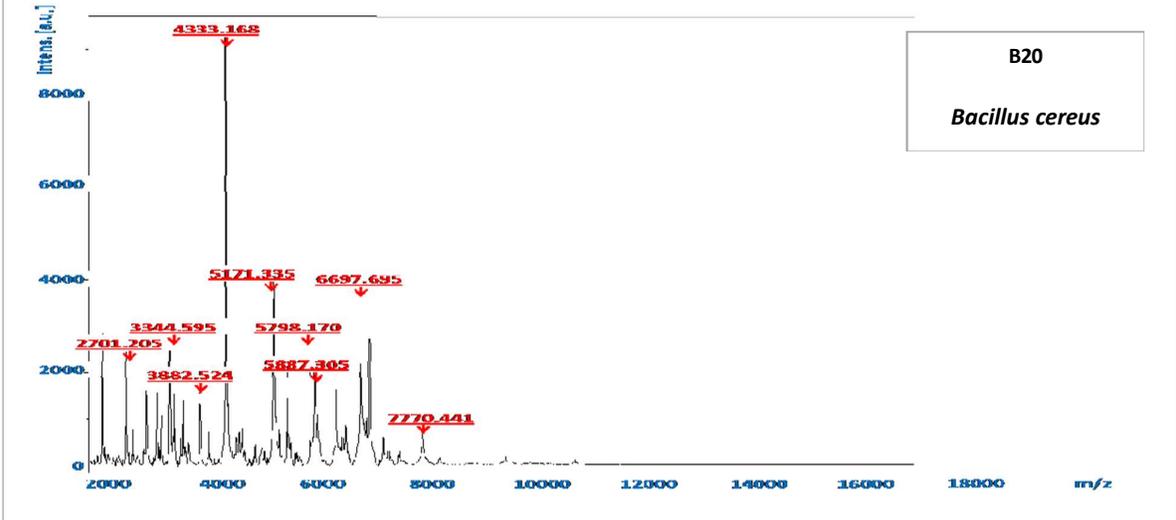
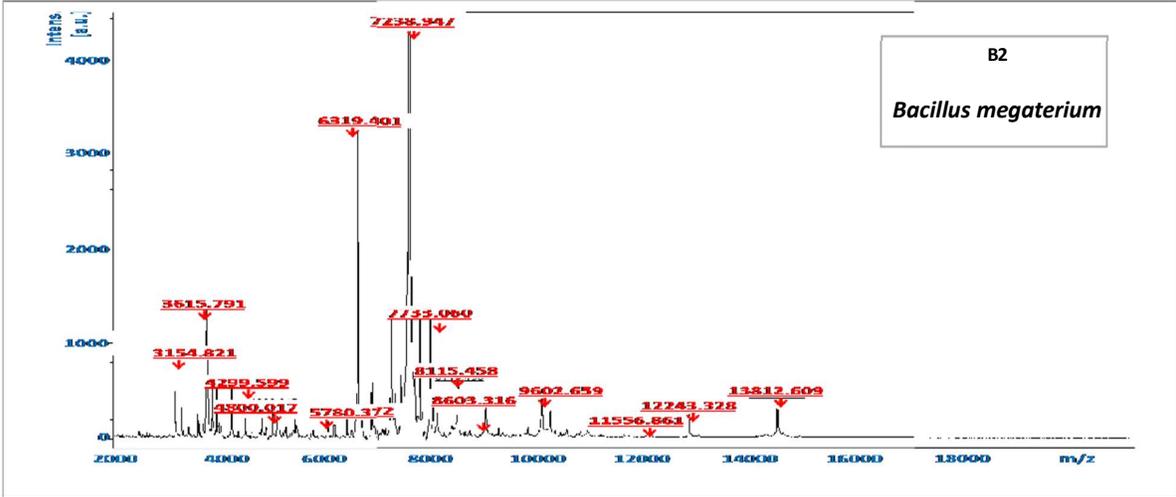
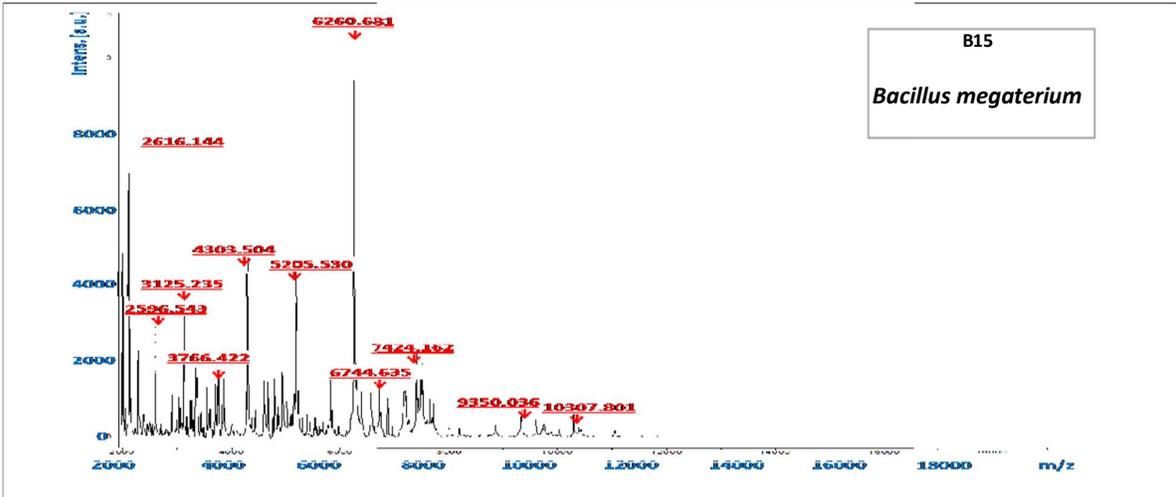
Les signaux de B15 sont apparus près de 6300 m/z et 4300 m/z pour le pic moléculaire et le pic de base, respectivement. Leurs spectres présentaient des pics de faible intensité (pics de fragmentation) dans une gamme de masse presque identique entre 2500-5000 m/z et 6500-10000 m/z pour B1. Pour B15, ces pics se situaient entre 2500-5500 m/z et 6500-11000 m/z. B2 n'a pas été identifié. En outre, le profilage des protéines de B2 n'a pas été réalisé avec succès

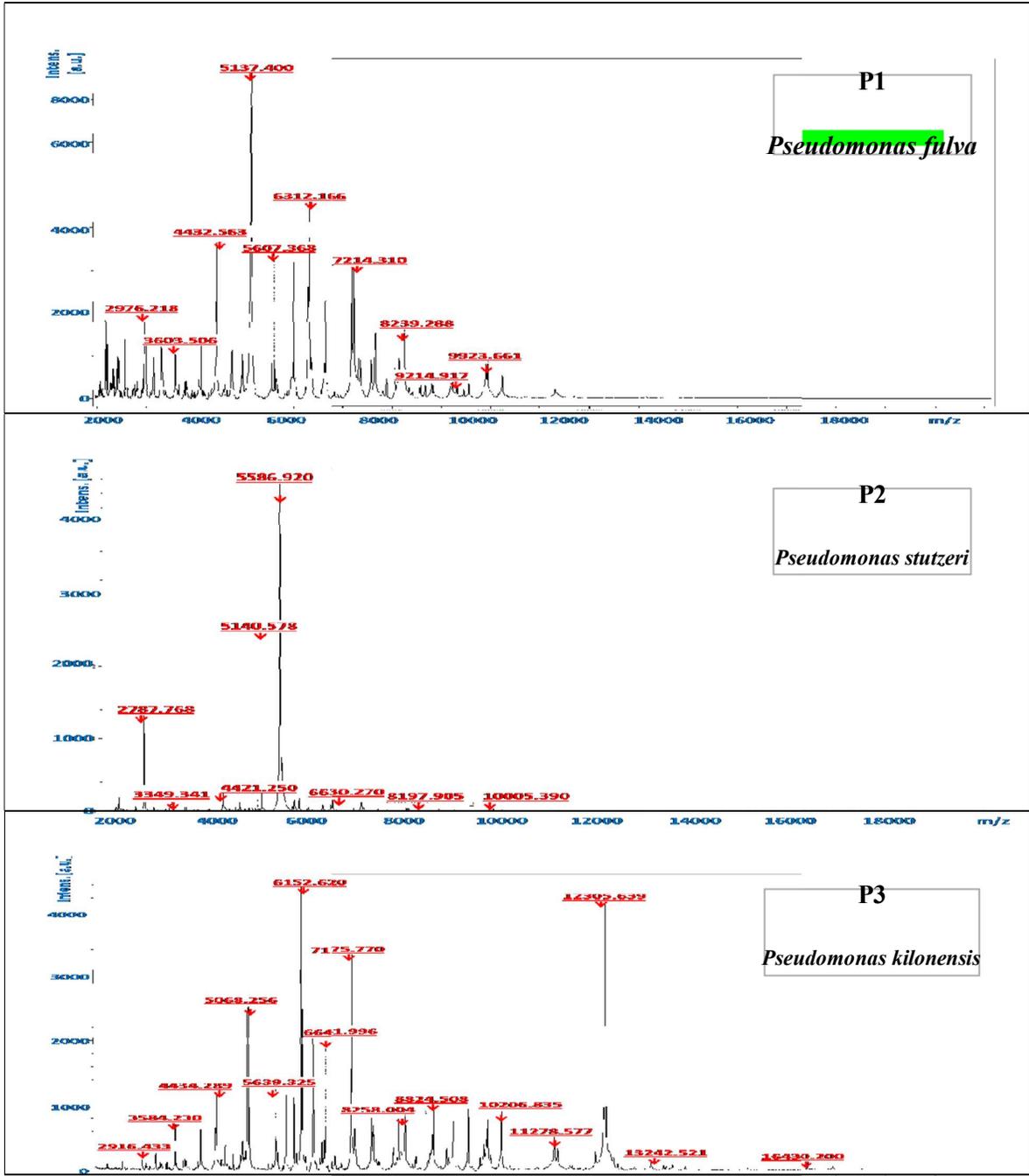
Le MALDI-TOF-MS a donc été conclu comme n'étant pas approprié pour l'identification de B2. Le profil protéique de la souche B20 a montré qu'elle correspondait à *B. cereus* et qu'elle donnait des signaux proches de 4400 m/z pour le pic moléculaire et de 5200 pour le pic de base, ainsi que d'autres pics de faible intensité compris entre 2500-4000 et 5500- 8000 m/z.

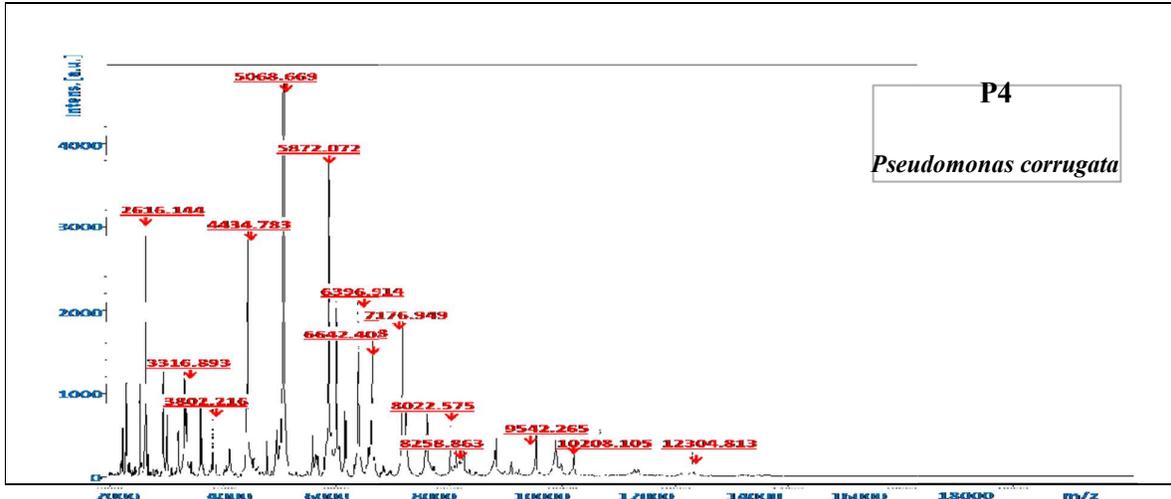
D'autre part, les spectres de P1, P2, P3 et P4 indiquent qu'ils appartiennent tous au genre *Pseudomonas* avec des spectres variés pour les quatre espèces différentes. Les signaux de P1 *P. fulva* ont été observés près de 5200 m/z pour le pic moléculaire et 6400 m/z pour le pic de base. Pour P2 *P. stutezeri*, le pic moléculaire était proche de 5600 m/z et de 5200 m/z pour le pic de base et les pics de faible intensité se situaient entre m/z 2500-5000 et 6500- 10000 pour les deux spectres.

Les spectres de P3 *P. kilonensis* et de P4 *P. corrugata* ont révélé une gamme de pics plus large que les autres spectres, atteignant 17000 m/z pour P3 et 13000 m/z pour P4. Les signaux de P3 étaient proches de 6200 m/z et 12000 m/z pour les pics moléculaires et de base, respectivement. P4 a révélé des signaux proches de 5000 m/z pour le pic moléculaire et de 5900 m/z pour le pic de base.









**Figure41** : Profilage des spectres de masse des souches isolées par MALDI-TOF-MS. B1 : *Bacillus megaterium*, B15 : *Bacillus megaterium*, B2 : *Bacillus megaterium*, B20 : *Bacillus cereus*, P1 : *Pseudomonas fulva*, P2 : *Pseudomonas stutzeri*, P3 : *Pseudomonas kilonensis*, P4 : *Pseudomonas corrugata*.

### 2.3. Typage par MALDI-TOF-MS

Le MALDI-TOF-MS a été choisi pour l'identification et la différenciation de 8 isolats bactériens, car il s'agit d'une technique rapide et fiable. Trois isolats ont été identifiés comme *Bacillus* spp (B1, B15 et B20) et quatre comme *Pseudomonas* spp (P1, P2, P3 et P4) (tableau5).

Les scores d'identification des trois isolats de *Bacillus* spp étaient inférieurs à 2, ce qui a été considéré comme une identification probable du genre. Deux isolats ont été identifiés comme *Bacillus megaterium* avec des scores différents : 1,994 pour l'isolat B15 et 1,882 pour l'isolat B1. L'isolat B20, avec un score de 1,892, a été identifié comme *Bacillus cereus*.

Les scores d'identification de trois isolats de *Pseudomonas* spp étaient supérieurs à 2, ce qui a été considéré comme une identification sûre du genre et une identification probable de l'espèce.

L'isolat P1 a été identifié comme *Pseudomonas fulva* avec un score de 2,294, l'isolat P2 a été identifié comme *Pseudomonas stutzeri* avec un score de 2,148, et l'isolat P3 a été identifié comme *Pseudomonas kilonensis* avec un score de 2,009.

L'isolat P4 a été identifié comme *Pseudomonas corrugata* avec un score de 1,974, ce qui correspond à une identification probable du genre. Un isolat B2 n'a pas été identifié avec un score de 1,648 correspondant à une identification non fiable.

**Tableau 22** : Identification par MALDI-TOF-MS des bactéries isolées des kystes de *Globodera* sp

Isolatecode	ID	MALDI-TOF-MSscorevalue
<b>B1</b>	<i>Bacillus megaterium</i>	1.882
<b>B2</b>	<i>Bacillus megaterium</i>	1.648
<b>P1</b>	<i>Pseudomonas fulva</i>	2.294
<b>P2</b>	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	2.148
<b>P3</b>	<i>Pseudomonas kilonensis</i>	2.009
<b>B15</b>	<i>Bacillus megaterium</i>	1.994
<b>B20</b>	<i>Bacillus cereus</i>	1.892
<b>P4</b>	<i>Pseudomonas corrugata</i>	1.974

ID : identification

#### 2.4. Identification des champignons

L'examen macroscopique et microscopique a révélé 173 isolats fongiques appartenant à 12 genres (Tableau 23) (figure 42).

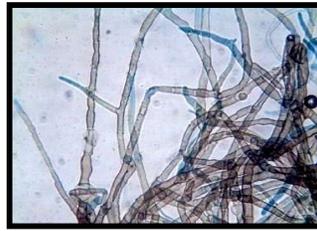
**Tableau23** : Caractères morphologiques des champignons antagonistes des kystes de *Globodera* sp.

Genres fongiques identifiés	Aspect cultural	Caractères morphologiques
<i>Penicillium</i> sp	Mycélium verdâtre	Mycélium septé, caractérisé par la présence de conidiophores droits et ramifiés, de phialides serrées les unes contre les autres, et de conidies produites en grand nombre par les phialides qui restent en chaîne
<i>Rhizoctonia</i> sp	Mycélium Marron foncé Avec des sclérotés de formes irrégulières	Mycélium septé avec un grand diamètre
<i>Chaetomium</i> sp	Mycélium blanchâtre	Conidies reconnues par des septates et des périthèces visibles. Ils apparaissent également sous forme de structures opaques, brun foncé à noirâtre, sphériques à ovoïdes. Ces périthèces contiennent des asques contenant chacun des ascospores. Les asques sont pédonculés, en forme de massue et contiennent quatre ou huit spores. Les ascospores étaient brunes, ovales ou en forme de citron, et facilement observables lorsqu'elles émergent du périthèce.
<i>Alternaria</i> sp	Mycélium brun foncé duveteux	Hallus avec un mycélium septé portant de nombreuses chaînes de conidies divisées par des septa Transversaux et/ou longitudinaux, des conidiophores lisses, parfois ramifiés, courts ou allongés

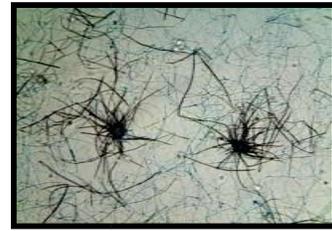
<i>Mucor</i> sp	Mycélium brun doté d'une texture floconneuse	Hyphes étaient non septées avec absence de rhizoïdes et de stolons, sporangiophore non ramifié sans apophyse se développant sur les Hyphes, grand sporocyste globuleux et columelle ovoïde, avec spores ovales, lisses ou rugueuses
<i>Aspergillus</i> sp	Mycélium poudre noir	Un mycélium non septé, la tête porte de nombreux conidiophores avec une extrémité renflée ; des phialides sont disposées tout autour de la vésicule et sont portées par des cellules stériles.
<i>Ulocladium</i> sp	Aspect cotonneux de couleur brun foncé	Les conidiophores étaient droits ou sinueux, le plus souvent non ramifiés, avec des parois lisses de couleur brun doré. Les cicatrices conidiennes étaient brunes. Les conidies étaient généralement disposées en chaînes de deux à dix, de forme ellipsoïde ou ovoïde, avec un à cinq septa transversaux et plusieurs septa obliques ou longitudinaux
<i>Fusarium</i> sp	Mycélium aérien abondant de couleur blanche, jaune, rose à violette	Les macroconidies étaient multicellulaires, hyalines, légèrement septées et en forme de canoë. Les microconidies étaient unicellulaires, hyalines, non septées et ovoïdes.
<i>Cladosporium</i> sp	Mycélium à texture veloutée-poudreuse, de couleur vert-olive à noire	Les hyphes sont septés et ramifiés, les conidiophores peuvent être septés, et les conidies alvéolaires sont rondes à ovales.
<i>Epicoccum</i> sp	Mycélium Duveteux Verdâtre	Les hyphes sont jaunes à bruns, avec des conidiophores courts et légèrement pigmentés. Chaque conidiophore pousse directement sur l'hyphe, est ramifié à plusieurs niveaux et se termine par une cellule conidiogène. Il produit un conidium multicellulaire, globuleux ou en forme de poire, avec une base en forme d'entonnoir et une large cicatrice lors du détachement du conidium à maturité
<i>Stemphylium</i> sp	Mycélium cotonneux de Couleur brun-noir	Tubes mycéliens septés et des conidies ovales et septées à extrémité obtuse
<i>Rhizopus</i> sp.	Aspect filamenteux. La surface des boîtes est de couleur noire et le revers est de couleur blanche	Longs sporangiophores qui se ramifient à partir des stolons, chacun portant un sporange produisant des spores



a) *Penicillium* sp



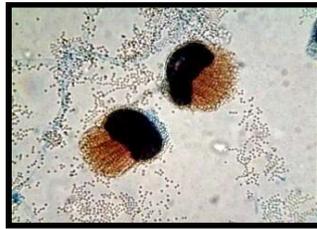
b) *Rhizoctonia* sp



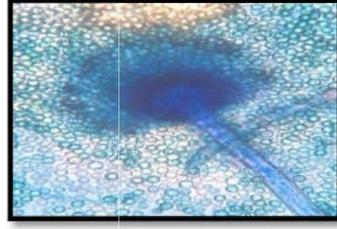
c) *Chaetomium* sp



d) *Alternaria* sp



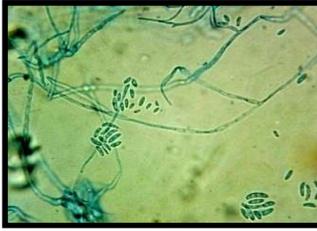
e) *Mucor* sp



f) *Aspergillus* sp



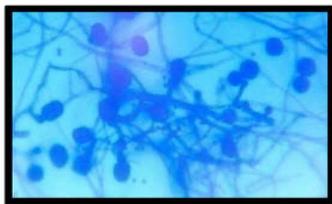
g) *Ulocladium* sp



h) *Fusarium* sp



i) *Cladosporium* sp



j) *Epicoccum* sp



k) *Stemphylium* sp



l) *Rhizopus* sp.

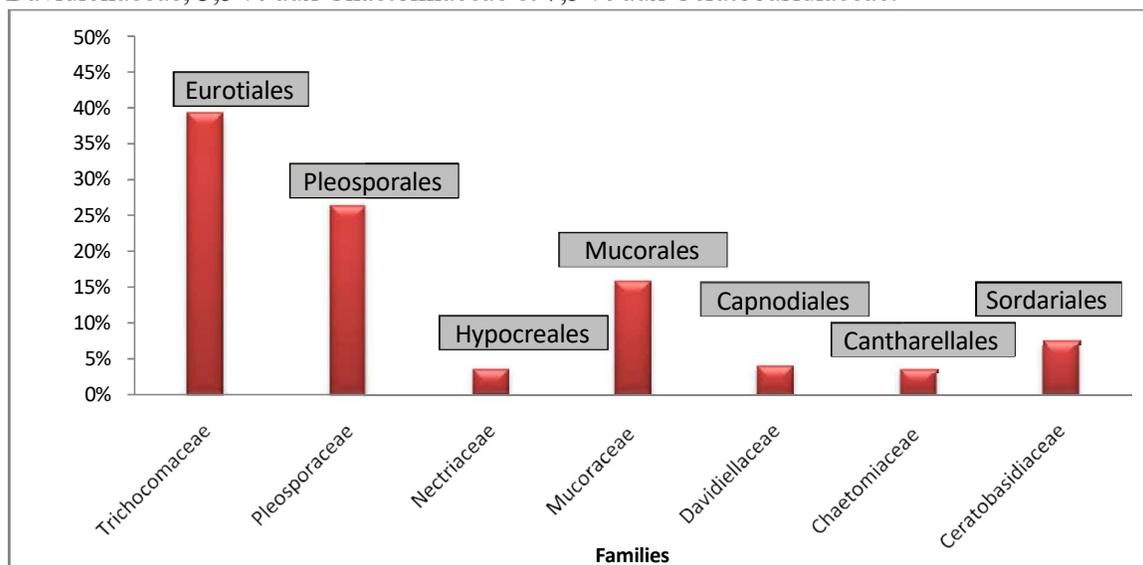
**Figure42 :** Observations microscopiques des espèces de champignons isolées des kystes de *Globodera* sp. (Grossissement 40x, 100x)

## 2.5. Fréquence des champignons

### 2.5.1. Répartition des champignons par ordre et par famille

La distribution des champignons dans les kystes de *Globodera* spp. Par ordre et par famille est résumée dans la Figure 43. La flore fongique associée aux kystes de *Globodera* obtenus dans

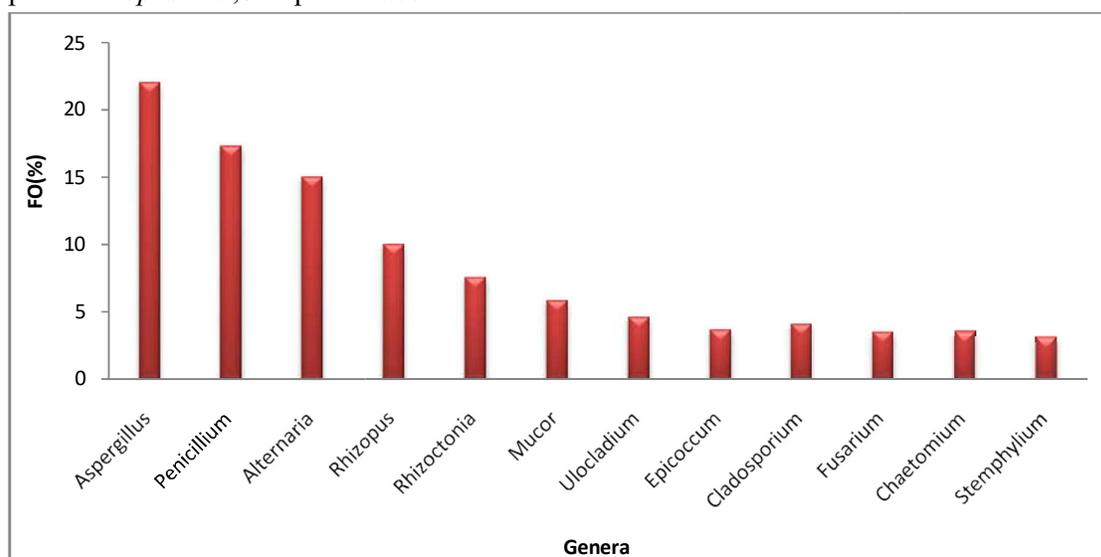
différentes régions a révélé 7 ordres parmi lesquels 39,34 % appartiennent aux Trichocomaceae, 26,31 % aux Pleosporaceae, 3,5 % aux Nectriaceae, 15,8 % aux Mucoraceae, 4,05 % aux Davidiellaceae, 3,5 % aux Chaetomiaceae et 7,5 % aux Ceratobasidiaceae.



**Figure43 :** Fréquence des champignons isolés des kystes de *Globodera spp.* Par ordre et par famille dans les quatre régions étudiées. FR : rapport de fréquence

### 2.5.2. Répartition des champignons par genre

Le genre *Aspergillus*, le plus fréquent, a enregistré une fréquence de 22 %, suivi par le genre *Penicillium*, détecté dans 17,34 % des populations de kystes de *Globodera*. Le troisième genre, *Alternaria*, était commun dans 15,02 % des cas (Figure 44). Une fréquence de 10 % a été enregistrée pour *Rhizopus* et 5,8 % pour *Mucor*.



**Figure44 :** Distribution des champignons isolés des kystes de *Globodera spp.* par genre dans les quatre régions étudiées. FR : rapport de fréquence

La fréquence de *Rhizoctonia* était de 7,5%, tandis que le genre *Cladosporium* était présent dans 4,05% de la population étudiée. Une fréquence de 3,5% a été enregistrée pour chaque genre de *Chaetomium* et *Fusarium*.

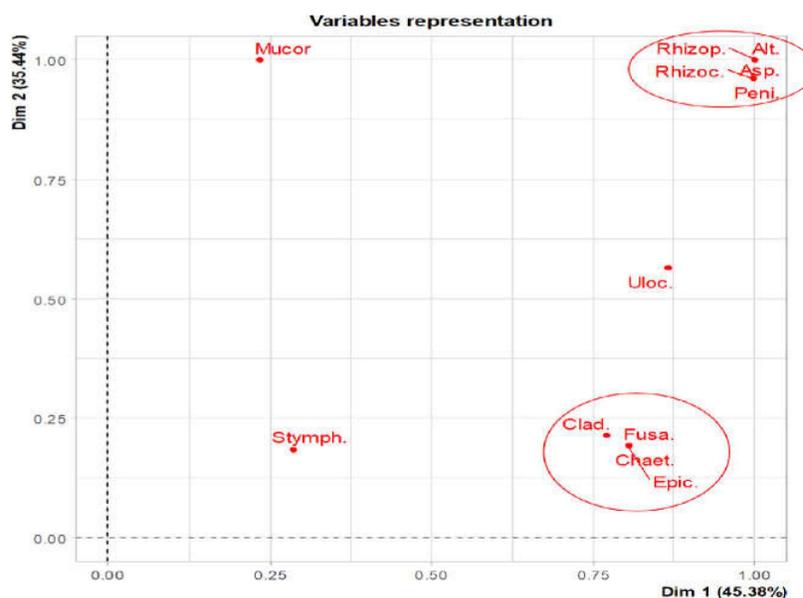
### 3. Traitement des données :

L'analyse des correspondances (AC) permet la construction des axes présentés sur le Tableau 24.

**Tableau24** : Pourcentage de variances desaxes

	Eigenvalue	Pourcentage de variance	Pourcentage cumulé de la variance
<b>dim1</b>	0,79	45,38%	45,38%
<b>dim2</b>	0,62	35,44%	80,83%
<b>dim3</b>	0,34	19,17%	100,00%

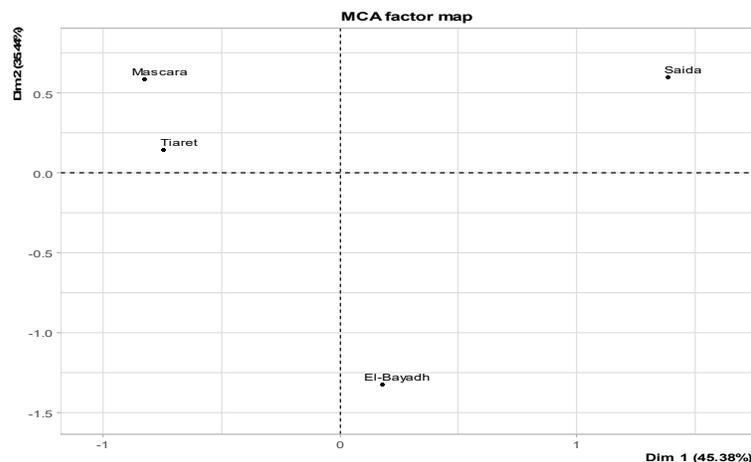
L'axe 1 et l'axe 2 représentent respectivement 45% et 35% de la variance totale, avec un cumul d'environ 81%, ce qui permet de se contenter de ces deux axes (Le tableau 24 présente la projection des variables et des individus sur le plan 1x2, ce qui permet de construire les Figures 46 et 47. Les variables en relation se trouvent dans la même ellipse.



**Figure45** : La projection des champignons sur le plan 1x2 de l'AC

L'AC fait ressortir quatre groupes. Le premier groupe correspond à la présence des genres *Rhizopus spp.*, *Alternaria spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizoctoniar spp.* Et *Penicillium spp.* Le second

comporte les genres *Fusarium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Chaetomium spp.*, *Chaetomium spp.*, et *Epicoccum spp.* Alors que les trois groupes restants regroupent chacun un seul genre, pour le troisième c'est le genre *Stymphyllim spp.* Le quatrième comporte du genre *Mucor spp.* Et le cinquième groupe le comporte seulement le genre *Ulocladium spp.*



**Figure 46 :** La projection des régions sur le plan 1x2 de l'AC

Mascara et Tiaret sont proches l'un de l'autre sur le plan factoriel et sont fortement influencés par des variables similaires. Cela peut signifier qu'ils partagent des caractéristiques communes en termes de composition chimique, environnementale ou biologique. Alors que Saïda est située à l'opposé de Mascara et Tiaret ce qui présente des paramètres opposés ce qui indique que les variables dominantes pour Saïda (Dim 1 ou Dim 2) s'opposent à celles qui influencent Mascara et Tiaret. Saïda pourrait être influencée par des paramètres distincts ou des conditions environnementales particulières. Cela est expliqué par les variations morphologiques existantes entre les populations de NKPT.,

Et El-Bayadh est isolé des autres, ce qui montre une spécificité importante. Ses caractéristiques sont probablement influencées par des variables peu corrélées avec celles qui dominent les autres échantillons ce qui peut être expliqué par des conditions climatiques environnementales différents des autres régions étudiées.

#### 4. Discussion :

Cette étude a permis de mettre en évidence l'existence d'une forte biodiversité de microorganismes dans l'écosystème de la pomme de terre. Les isollements réalisés ont montré une prédominance des genres *Bacillus* et *Pseudomonas* pour les bactéries, et pour les champignons une prédominance des genre *Aspergillus*, *Penicillium* et *Alternaria*, suivis des genres ayant une fréquence inférieure à 10 % : cas de *Rhizopus*, *Rhizoctonia*, *Mucor*,

*Ulocladium*, *Epicoccum*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Chaetomiuet*, *Stemphyllium*, ils sont

ainsi considérés comme des opportunistes ou parasites secondaires (Gintis et al., 1983, Kerry, 1988).

L'isolement et l'identification des bactéries et champignons antagonistes à partir des kystes semblent être d'une grande importance pour la lutte biologique contre le NKPT et l'agriculture durable.

Les bactéries isolées des kystes de *Globodera* appartiennent aux genres *Pseudomonas* et *Bacillus*, 8 isolats ont été soumis à une analyse approfondie en utilisant une technique plus récente, la spectrométrie de masse MALDI TOF, une technique simple et rapide.

Elle repose sur la comparaison du spectre protéique du spécimen étudié avec une base de données de spectres de référence (Wilkins et Lao, 2006). Elle est statistiquement plus efficace au niveau du genre et de l'espèce pour l'identification des bacilles à Gram négatif (Tournus, 2016).

Le MALDI-TOF démontre des capacités supérieures d'identification du genre, ce qui se traduit par un taux plus faible de bactéries non identifiées (Jacquier, 2011), la précision de l'identification est connue pour tolérer des conditions de croissance variables (Seibold, 2010).

Nos résultats sont comparables avec ceux de Bentoumi, (2021) son étude concernant l'association des antagonistes naturels au NKPT a révélé la présence de champignon avec une prédominance des genres *Trichoderma* et *Fusarium*, suivis des genres ayant une fréquence inférieure à 10 % : cas de *Penicillium*, *Alternaria*, *Stemphyllium*, *Phoma* et *Cladosporium*, et la présence de bactérie en l'occurrence : *Brucella* spp. *Rhizobium* spp. et *Stenotrophomonas* spp.

Les genres *Pseudomonas* et *Bacillus* (Emmert et Handelsman, 1999, Siddiqui et Mahmood, 1999, Meyer, 2003) ont montré un grand potentiel pour la lutte biologique contre les nématodes. Selon leur mode d'action, les bactéries nématoparasites ont été classées en 6 groupes ; les *Bacillus* nématicide font partie des bactéries parasites opportunistes et les *Pseudomonas* spp appartiennent au groupe des rhizobactéries ou PGPR (Plant growth Promoting Rhizobacteria) (Tian et al. 2007 ; Eissa et Abd-Elgawad, 2015).

Certains membres du genre *Pseudomonas*, notamment : *Pseudomonas chlororaphis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas fulva*, *Pseudomonas parafulva*, *Pseudomonas putida* et *Pseudomonas mosselii* sont particulièrement bien connus pour leurs propriétés antiphytopathogènes (biocontrôle et promotion de la croissance des plantes) (Kakembo, et Lee, 2019, Zhang et al., 2018), et ont fait l'objet d'études approfondies en vue de leur utilisation comme alternatives possibles aux pesticides chimiques et aux engrais synthétiques, utilisés dans l'agriculture (Babalola, 2010).

Il a été prouvé que les souches fluorescentes de *Pseudomonas*, lorsqu'elles sont utilisées comme inoculants microbiens, protègent les plantes contre les infections causées par les phytopathogènes présents dans le sol. Elles produisent et excrètent des métabolites qui inhibent les pathogènes des végétaux du sol, comme le 2,4-diacétylphloroglucinol, un composé phénolique doté d'une activité antifongique, antibactérienne, antihelminthique, nématicide et phytotoxique à large spectre.

Dans des conditions in vitro, l'exposition à *P. fluorescens* F113 produisant du diacétylphloroglucinol a réduit la capacité de *G. rostochiensis* à éclore et a diminué le

pourcentage de juvéniles mobiles du nématode à kyste de la pomme de terre (Cronin, 1997).

Les espèces de *Pseudomonas* ont la capacité de produire d'autres composés comme les sidérophores (Ali Siddiqui, 2001), l'ammoniac (Pandey et al., 2008), qui peuvent inhiber l'éclosion des œufs, la survie des juvéniles et la pénétration des racines par les nématodes des plantes (Khan et Kim, 2007).

*Pseudomonas putida* peut réduire les densités de population de *Globodera rostochiensis* de 40,7 à 42,2 % par rapport à la population non traitée, ce qui entraîne une augmentation des paramètres de croissance des plantes (Trifonova, 2014).

Le genre *Bacillus*, en raison de sa grande reproduction et de son abondance, est l'un des agents de biocontrôle les plus importants et a fait l'objet de recherches dans la lutte contre les nématodes et d'autres agents pathogènes (Tian et al., 2007).

Les mécanismes de biocontrôle fournis par les rhizobactéries telles que *B. cereus*, *B. megaterium* et d'autres comprennent la colonisation des racines, la sporulation et la formation de cristaux parasporaux.

Lors d'expériences en serre, l'enrobage des semences avec des isolats de *Bacillus*, en particulier *B. cereus*, a fortement réduit l'infection de J2s sur les racines de blé. Cela pourrait signifier que ces isolats bactériens peuvent diminuer la capacité de *H. avenae* à infecter les racines.

Des *Bacillus* rhizosphériques provenant de betteraves sucrières ont également réduit l'éclosion du nématode à kyste de la pomme de terre, *Globodera rostochinensis* et *G. pallida* (Ryan, N.A et Jones, P. 2004).

La souche S2 de *Bacillus cereus* peut synthétiser de la sphingosine qui peut être utilisée pour induire une accumulation d'oxygène réactif, endommager les zones génitales des nématodes et empêcher la reproduction des nématodes (Gao et al., 2016).

L'un des mécanismes des bionématicides implique la production d'une enzyme qui décompose la coquille de l'œuf et la paroi du kyste du NKPT (Widianto et al., 2021), en l'utilisant comme source d'énergie le carbone. Les coquilles d'œufs de *G. rostochiensis* contiennent 59 % de protéines et 9 % de chitine (Clarke et al., 1967).

Les protéases, les chitinases et les lipases sont des enzymes de dégradation qui jouent un rôle crucial dans le processus de dégradation. Le genre *Bacillus* est connu pour produire des enzymes protéases et chitinases, ce qui en fait un candidat approprié pour un bionématicide (Gao et al., 2016, Ann, 2013, Lee et Kim, 2015).

Par conséquent, l'activité possible de l'enzyme hydrolytique des isolats pourrait être impliquée dans le processus de pénétration pour aider les bactéries à tuer les juvéniles (Cox et al., 1986, Ahman et al., 2002).

Selon les recherches rapportées par Padgham et Sikora (Padgham et Sikora, 2006), *Bacillus megaterium* est un choix prometteur pour le biocontrôle des nématodes car il réduit la

pénétration de *Meloidogyne graminicola*. Al-Rehiyani et al (1999) ont signalé que *B. megaterium* réduisait de 50 % la pénétration de *M. chitwoodi* et de *Pratylenchus penetrans* dans la pomme de terre par rapport aux racines de plantes de riz non traitées.

Un autre isolat de *Bacillus megaterium* a réduit la pénétration et la migration des racines de *M. graminicola* de 40 à 60 % (Abd-El-Khair et al., 2019). Selon Zhou et al (2021), la souche Sneb207 de *Bacillus megaterium* a prolongé l'état de développement du nématode à kyste du soja. Dans le traitement au Sneb207, J3 et J4 présentaient des longueurs accrues par rapport au contrôle, ce qui indique que le Sneb207 a inhibé le développement du nématode.

Ainsi, la souche Sneb207 de *B. megaterium* a la capacité de réduire la pénétration et le développement du nématode à kyste du soja, ainsi que d'influencer la formation de kystes dans les racines de soja et la proportion de femelles et de nématodes (Zhou et al., 2017).

Les résultats actuels ont révélé que des champignons diversifiés ont été isolés des kystes de *Globodera sp.* Appartenant à 7 ordres et à 12 genres provenant de plusieurs régions productrices de pommes de terre, tels que les champignons opportunistes : *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Zygomycetes (Rhizopus et Mucor)* et des champignons appartenant aux Dothideomycetes (*Ulocladium*, *Cladosporium*, *Epicoccum* et *Stemphylium*), Agaricomycetes (*Rhizoctonia*), Sordariomycetes (*Chaetomium*) et Deuteromycetes (*Alternaria*).

De nombreuses classes majeures de produits chimiques commerciaux, y compris de nombreux antibiotiques utilisés en médecine, ont été produites par des champignons, qui sont connus pour avoir une grande diversité de voies métaboliques (Smedsgaard et Nielsen, 2004).

Selon Kerry (1988a), plus de 150 espèces de champignons ont été identifiées sur les kystes, les femelles et les œufs de huit espèces de nématodes à kystes dans le sol, alors qu'une vingtaine d'espèces ont été trouvées sur les œufs de *Meloidogyne spp.*

*Aspergillus* et *Penicillium* possèdent tous deux des métabolites secondaires dotés d'une importante activité nématicide, comme la gliotoxine, la fumagilline, la brefeldine A, la  $\alpha$   $\beta$ -déhydrocurvularine, la 8 $\beta$ -hydroxy-7-oxocurvularine (Li et al., 2007).

Selon Nigh et al (1980), certaines études indiquent qu'après avoir été infestés par certains champignons opportunistes, la viabilité des nématodes est significativement réduite. L'utilisation de champignons dans la lutte biologique contre *Globodera spp.* s'est révélée efficace.

Dans cette étude, *Aspergillus* et *Penicillium* ont enregistré les fréquences les plus élevées. Selon les résultats d'une expérience menée par Jang et al (Jang et al., 2016), l'exposition au filtrat de culture d'*Aspergillus niger*F22 a réduit les taux de viabilité de J2 et d'éclosion des œufs. La formation d'acide oxalique en tant que métabolite nématicide est liée à cet impact.

L'étude menée par Martinez-Beringola et al (Martinez-Beringola et al., 2013) dans des

conditions de laboratoire, l'ajout de *Penicillium oxalicum* aux sols a diminué la quantité et le taux d'éclosion des J2 des NKPT. Ils ont remarqué que *P. oxalicum* avait un effet nématocide sur les kystes de *G. pallida* dans le sol.

Le genre *Alternaria* produit une variété de composés biologiquement actifs qui possèdent une activité nématocide significative, comme la bréfeldine A isolée d'*Alternaria carthami*, *Alternaria zinniae* (Vurro et al. 1998). Le macrodiolide symétrique à 16 membres, l'helmidiol, a été produit par *Alternaria alternata* (Kind et al., 1996).

D'autres champignons comme *Rhizoctonia solani* ont eu un effet antagoniste sur la population de *G. rostochiensis* lorsque les plantes ont été traitées avec une combinaison de *G. rostochiensis* et de *R. solani* (Janowicz et al. 1994).

La viabilité des nématodes est fortement réduite après leur colonisation par certains champignons opportunistes. (Nigh et al., 1980)

*Epicoccum nigrum* et *Epicoccum purpurascens* contiennent également le composé flavipine qui peut empêcher l'éclosion du nématode à kyste du soja *Heterodera* ainsi que la mobilité juvénile de *Meloidogyne incognita* in vitro (Li et al. 2007). *Chaetomium globosum* est l'un des champignons les plus répandus dans l'environnement (Jiang et al., 2017).

Plusieurs études ont démontré la capacité nématocide de *C. globosum*. Une étude établie par Meyer et al (Meyer et al. 2007) a démontré que l'éclosion des œufs d'*Heterodera glycines* et de *M. incognita* était inhibée par le filtrat du bouillon de culture de *C. Globosum*. En outre, il a été montré que le *Fusarium* inhibait la croissance de *G. rostochiensis* en produisant des métabolites toxiques tels que la beauvéricine, l'enniatine A, l'enniatine B, la cyclosporine A et le 4,15-diacétylnivalénol qui diminuent l'activité du nématode et l'attraction du juvénile de deuxième stade (J2) vers les racines (Djian-Caporalino, C. 2012).

Plusieurs autres métabolites secondaires ayant des activités nématocides comprennent l'acide acétique, la beauvéricine et la bréfeldine A (Li et al., 2007).

Selon l'étude réalisée par Righi (2016), quarante-six champignons appartenant à des genres différents ont été identifiés à partir des kystes d'*H. avenae* avec une fréquence qui varie entre 13 et 66%.

Ces champignons appartiennent à quatre ordres représentés par les Zygomycètes tels que *Rhizopus spp.* et *Rhizomucor spp.* et plusieurs Deutéromycètes tels que *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.* et *Ulocladium spp.*

Le même auteur a démontré en conditions de laboratoire la toxicité de trois souches de *Fusarium spp.* De deux souches de *Penicillium spp.* et de deux souches d'*Aspergillus spp* vis à vis les œufs de *Heterodera sp* et le pourcentage de mortalité des œufs était de 100% pour toutes les concentrations des filtrats de champignons.

Ces résultats sont nettement visibles sous microscope lorsque les œufs d'*H. avenae* sont colorés au bleu de Meldola à 1%.

La colonisation des kystes et des œufs par ces micro-organismes (champignons et bactéries) peut affecter leur viabilité, ce qui peut expliquer le taux élevé des kystes vides et des œufs morts dans les kystes des différentes populations étudiées.

L'étude de l'efficacité de *Fusarium oxysporum* menée par Benttoui, (2021) a mis en évidence son activité nématocide à l'égard des nématodes phytoparasites notamment contre *G. rostochiensis* avec un pourcentage d'infection des femelles variant de 40.5 % à 48.9 % et un pourcentage d'inhibition de l'éclosion des œufs variant de 36.0% à 44.4 %, celle-ci est attribuée aux mycotoxines produites par les *Fusarium* spp leur permettant d'avoir un effet antagoniste contre les nématodes.

Selon Desjardins et Proctor (Desjardins et Proctor, 2007), la toxicité des champignons du genre *Fusarium* se manifeste par deux manières : premièrement par la déformation des juvéniles et deuxièmement par l'inhibition de l'éclosion des œufs du parasite.

Il est essentiel de prendre en compte davantage les interactions entre les souches combinées dans les préparations afin d'améliorer les performances de la lutte biologique. Ces associations peuvent avoir un avenir très prometteur dans la gestion des nématodes phytoparasites. (Benttoui,2021)

Les principales stratégies de gestion du NKPT peuvent être classées en trois catégories : chimique, culturelle et résistance naturelle de l'hôte. En outre, des méthodes de lutte biologique, telles que l'utilisation d'agents microbiens antagonistes, ont été évaluées et employées, mais ne sont pas largement utilisées contre le NKPT (Davies et Buisine, 2018).

Peu d'ennemis naturels du NKPT ont été identifiés et leurs productions en masse est techniquement difficile (Kerry et Hominick, 2002, Viaene et al., 2006). Il n'existe pas de stratégie unique, car aucune n'est à ce jour totalement efficace contre les deux espèces

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale :

Compte tenu de l'importance de la culture et de l'émergence du nématode à kyste de la pomme de terre en Algérie et de son impact sur la production de pommes de terre, la présente enquête a été entreprise, 380 parcelles appartenant à 21 localités ont été prospectées pour évaluer l'état d'infestation des parcelles par ce parasite.

Sur la base des résultats obtenus dans la présente étude, on peut déduire que :

Les prospections effectuées ont démontré que les nématodes à kyste de la pomme de terre (*Globodera rostochiensis* et *Globodera Pallida*) ont été signalés dans la plupart des zones étudiées, sa présence était dans 100% des parcelles explorées et aucune infestation forte n'a été observée dans notre étude

Toutefois, nous avons décelé l'absence de ce nématode dans certaines régions

Les valeurs des taux d'infestations varient entre 2,1% représentant le pourcentage le plus faible qui a été enregistré dans la wilaya de Temouchant avec 4 parcelles et 59,10% représentant le pourcentage d'infestation le plus élevé dans la wilaya de Mascara avec 104 parcelles.

L'analyse nématologique nous a permis de constater que le nombre des échantillons contenant des œufs et larves est considérablement faible comparé aux échantillons prélevés et à ceux contenant des kystes et cela est dû au nombre élevé des kystes vides et non viables ainsi qu'une dominance quasi totale des kystes vides par rapport aux kystes pleins dans toutes les régions prospectées

Enfin, les données de cette première partie nous ont permis de réaliser une cartographie sur une vaste dimension, concernant la distribution de *Globodera rostochiensis* et de *Globodera pallida* dans les localités étudiées

De plus, nous avons procédé à une caractérisation morpho-métrique et anatomique du cône vulvaire de ces nématodes, cette identification permet de tracer une cartographie des foyers de ces parasites dans les zones de production de pomme de terre.

L'enquête menée auprès des agriculteurs a montré une méconnaissance de la majorité d'entre eux de ces parasites (Les symptômes, les dégâts, et encore moins les mesures à entreprendre pour prévenir leur installation).

L'étude de la fertilité des femelles enkystées de différentes populations de *Globodera* a révélé que la valeur moyenne des œufs produits par les femelles varie entre 245 et 396 œufs

L'analyse des facteurs édaphiques du sol nous ont permis de constater que :

- Les parcelles prospectées sont dotées d'une texture limono-argileuse
- Cependant pour la conductivité électrique on peut conclure que les sols étudiés sont des sols non salins, et l'effet de la salinité sur la croissance et le rendement des plantes est négligeable

- Que 20 échantillons ont un taux de MO modéré, tandis que 10 échantillons présentent un taux de MO élevé
- Pour le pH ; 19 échantillons sont des sols moyennement alcalins, tandis que 11 échantillons sont des sols neutres

L'étude des antagonistes associés au NKPT a permis de mettre en évidence l'existence d'une forte biodiversité de microorganismes dans l'écosystème de la pomme de terre. Les isollements réalisés ont montré une prédominance des genres *Bacillus* et *Pseudomonas* pour les bactéries, et pour la flore fongique associé aux kystes, 173 isolats fongiques ont été isolés appartenant à 7 ordres et à 12 genres avec une prédominance des genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Alternaria*, suivis des genres ayant une fréquence inférieure à 10 %

Les résultats émergents ont proposé que la plupart des bactéries et des champignons isolés du NKPT aient des propriétés nématocides, ce qui peut expliquer le nombre élevé de kystes vides. L'inclusion d'agents de lutte biologique dans la lutte intégrée contre les nématodes nuisibles devrait être optimisée afin de maximiser leur utilisation sûre et lucrative.

En outre, il est essentiel d'organiser des campagnes de sensibilisation à l'intention des agriculteurs afin de rendre ces méthodes biologiques familières et simples à utiliser, ce qui ouvrirait la voie à leurs adoptions à plus grande échelle, les sensibiliser aussi à l'importance d'utiliser des semences certifiées, de pratiquer la rotation des cultures et d'adopter des cultivars résistants aux NKPT

La poursuite de ce travail sera focalisée, d'une part, sur une compréhension plus approfondie de la biologie de ces parasites en accordant une attention particulière aux pathotypes par recours à l'identification des espèces par des outils moléculaires et, d'autre part sur la recherche des antagonistes naturels de ce parasite et d'étudier leur effet potentiellement nématocide sur NKPT.

# **Références bibliographiques**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. Aballay, E. (2012). *Rhizobacteria Associated to Vitis vinifera and their Effect on the Control of Xiphinema index, Meloidogyne ethiopica and Vitis Growth* (Doctoral dissertation, Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)).
2. Abawi G S, Widmer T L (2000) Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology* 15, 37- 47.
3. Abd-El-Khair H, El-Nagdi WMA, Youssef MMA, Abd-Elgawad MMM, Dawood MG. Protective effect of *Bacillus subtilis*, *B. pu-milus* and *Pseudomonas fluorescens* isolates against root knot nematode *Meloidogyne incognita* on cowpea. *BNRC*. 2019; 43:1-7. <http://dx.doi.org/10.1186/s42269-019-0108-8>
4. Ahman J, Johansson T, Olsson M, Punt PJ, van den Hondel CAMJJ, Tunlid A. Improving the pathogenicity of a nematode-trapping fungus by genetic engineering of a subtilisin with nem-atotoxic activity. *Appl Environ Microbiol.* 2002 ;68(7):3408-15. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.68.7.3408-3415.2002>
5. Akhtar M and Malik A (2000) Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *BioresourceTechnology* 74, 35- 47
6. Alan GW, Susan JT (1998) Management and regulatory control strategies for potato cyst nematodes (*Globoderarostochiensis* and *G. pallida*). In: Marks RJ, Brodie BB (eds) *Potato cyst nematodes: biology, distribution, and control*. CAB International, Oxford, pp 135–152
7. Ali Siddiqui I, Ehetshamul Haque S, Shahid Shaukat S. Use of rhizobacteria in the control of root rot–root knot disease complex of mungbean. *J Phytopathol.* 2001 ;149(6) :337-46. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0434.2001.00630.x>
8. Al-Rehiyani S, Hafez SL, Thornton M, Sundararaj P. Investigation-research: Effects of *Pratylenchus neglectus*, *Bacillus megaterium* and oil radish or rapeseed green manure on reproductive potential of *Meloidogyne chitwoodi* on potato. *Nematropica*.1999 ;29(1):37-49.
9. Ann Y. Screening for nematicidal activities of *Bacillus* species against root knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Am J ExpAgric.* 2013 ;3(4) :794-805. <http://dx.doi.org/10.9734/ajea/2013/3690>
10. Annabi, M., Bahri, H., & Latiri, K. (2009). Statut organique et respiration microbienne des sols du nord de la Tunisie. *BASE*.
11. Arour E. (2001). Variation diachronique saisonnière de la dynamique de végétation dans une zone pré saharienne (Cas de la région de MessâadW.Djelfa). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agropastoralisme. Centre Universitaire ZIANE ACHOUR Djelfa. 75 p.
12. Atkinson, H.J., and Ballantyne, A.J. 1977. Changes in the adenine nucleotide content of cysts of *Globoderarostochiensis* associated with the hatching of juvenils. *Annals of Applied Biology*, 87(2), 167-174.
13. AUBERT, V. (1987). Hatching of the carrot cyst nematode. In Lamberti, F. & Taylor, C.E. (Eds). *Cyst Nematodes*, New York, Plenum Press: 347-348

14. Babalola O.O. 2010. Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol. Lett.* 32:1559-1570
15. Baize, D. (1988). Les formations calcaires redistribuées du Jovinien et les sols qui en sont issus.
16. Baize, D. (2000). Guide des analyses en pédologie, 2nd ed. ; INRA Éditions : Paris, France, 257 p.
17. Barnett, H.L., & Hunter, B.B. (1998). Illustrated genera of imperfect fungi. The American Phytopathological Society. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington State University, Pullman. *APS Press. USA. St. Paul, Minnesota USA.* 218p.
18. Baujard, P., & Martiny, B. (1995). Characteristics of the soil nematode populations from the peanut cropping area of Senegal, West Africa. *Journal of African Zoology*, 109(1), 51-70.
19. Behrens, E. (1975). *Globodera* Skarbilovic, 1959, a genus in the subfamily Heteroderinae Skarbilovic, 1947 (Nematoda: Heteroderidae).
20. Belair, G., 2005. Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes... par la racine. *Phytoprotection*, 86 : 65-69. <https://doi.org/10.7202/011717ar>
21. Belhadj., Ben Yahia, F., 2007 -Variation de l'infestation de quelques parcelles de pomme de terre par le nématode doré du genre *Globodera*. Test de sensibilité de deux variétés (Désirée et Spunta) au laboratoire. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 57 p
22. Benttoui, N. Contribution à la recherche des antagonistes du nématode doré de la pomme de terre : *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) et Evaluation de l'activité nématocide de quelques isolats de champignons antagonistes à l'égard de ce bioagresseur. [Doctoral dissertation], ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH - ALGER ; 2021.
23. Bernhards U., 1998. Pomme de terre L. Monographie. Institut biotechnologie de la multiplication végétative. Cahiers agricultures, biotechnology and forestry, p40-50.
24. Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., & Khechimi, W. (2019). *Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie* (Doctoral dissertation, CIHEAM-IAMM).
25. Birch, P. R., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J. T., ... & Toth, I. K. (2012). Crops that feed the world 8: potato: are the trends of increased global production sustainable? *Food Security*, 4, 477-508.
26. Bissadou, K. D., Tchabi, A., Tounou, A. K., Ayessom, A. & Gumedzoe, M. (2012). Impact de la fumure organique appliquée seule et en combinaison avec une souche indigène de champignon mycorhizien arbusculaire *Glomus mosseae* sur *Meloidogynespp*, principal nématode parasitaire de la tomate au Togo. *Journal of Applied Biosciences* 55 : 3973- 3986
27. Blanchard Alexandra 2007. Identification, polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kyste de la pomme de terre *Globoderapallida*. Biochimie [q-bio.BM]. Université Rennes 1
28. 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* (Doctoral dissertation, Université Rennes 1).
29. Block W, Smith RIL and Kennedy AD (2009) Strategies of survival and resource exploitation in the Antarctic fellfield ecosystem. *Biol Rev* 84 :449–484
30. CABI et OEPP, 1990-Fiche informative sur les organismes de quarantaine : *Globodera rostochiensis* et *Globoderapallida*. CABI et l'OEPP pour l'UE sous contrat 90/399003, 6P.
31. CABI. 2013. *Globodera pallida*. Crop Protection Compendium. Accessed September 23, 2013 from: [www.cabi.org/cpc](http://www.cabi.org/cpc)
32. CABI. Invasive Species Compendium; *Globoderarostochiensis* (Yellow Potato Cyst Nematode), Datasheet. Available online: <https://www.CABI.org/isc/datasheet/27034> (accessed on 11 December 2020).

33. Cabrera Poch, H. L., Manzanilla López, R. H., & Kanyuka, K. (2006). Functionality of resistance gene Hero, which controls plant root-infecting potato cyst nematodes, in leaves of tomato. *Plant, Cell & Environment*, 29(7), 1372-1378.
34. Cadet P., Thioulouse J. & Albercht A., 1994. Relationships between ferrisol properties and the structure of plant parasitic nematode communities on sugarcane in Martinique (French West Indies). *Acta Oecologica*, 15 : 767-780.  
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:41761>
35. Cannon, O.S. (1941). *Heterodera schachtii* found in a Long Island potato field. *Plant. Dis. Rep.* 25, 408.
36. Carbonnelle E, Mesquita C, Bille E, Day N, Dauphin B, Beretti J et al. MALDI-TOF mass spectrometry tools for bacterial identification in clinical microbiology laboratory. *Clin Biochem.* 2011 ;44(1):104-09. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2010.06.017>
37. Caromel, B., Mugniéry, D., Kerlan, M.-C., Andrzejewski, S., Palloix, A., Ellissèche, D. et al. (2005) Resistance quantitative trait loci originating from *Solanum sparsipilum* act independently on the sex ratio of *Globodera pallida* and together for developing a necrotic reaction. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 18, 1186–1194.  
<https://doi.org/10.1094/MPMI-18-1186>
38. Carroll, J.J., Vigliercho, D.R., 1981. On the transport of Nematodes by the Wind. *Journal of Nematology*, 13, 476-483.
39. Castagnone-Sereno P, Kermarrec A, Clairon M, Anaïs A (1988) Effets dépressifs d'un apport de boue résiduaire sur le parasitisme de *Meloidogyne incognita*. *Med Fac Landbouww, Rijksuniv Gent* 53, 979-983
40. Caubel G., Persson F. et Rivoal R., 1980. Les nématodes dans les rotations céréalières. *Persp. Agric.*, (36) : 31-48.
41. Cayrol, J.C., 1975. Comment se maintiennent les nématodes dans le sol.
42. CEE-ONU., 2014- Guide de la CEE-ONU sur les maladies, parasites et défauts des plants de pomme de terre. Designed and printed at the United Nations, Geneva 1421074(F) — August 2014 — 200 ECE/TRADE/416
43. Centre national de control et certification des semences et plants. La liste Liste des variétés de pomme de terre. (*Solanum tuberosum* L.) autorisées à la production et à la commercialisation. *JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE* N 09/2024.
44. CFIA. 2012. Potato Cyst Nematode. Golden Nematode (*Globodera rostochiensis*), Pale Cyst Nematode (*Globodera pallida*). Canadian Food Inspection Agency. Accessed January 11, 2013 from: <http://www.inspection.gc.ca/plants/plant-protection/nematodes-other/potato-cyst-nematodes/fact-sheet/eng/1337002354425/1337002587229>.
45. Chabert, A., Buisson, A., Brun, F., Ruck, L., Champeil, A., Thibord, J.B., & 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.
46. Chauvin, L., Caromel, B., Kerlan, M.C., Rulliat, E., Fournet, S., Chauvin, J.É., & Mugniéry, D. (2008). La lutte contre les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. *Cahiers agricultures*, 17(4), 368-374.
47. Christensen BT. 2001. Physical fractionation of soil and structural functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, 52 : 345-353
48. Christian Rémésy, Laetitia Robert, Catherine Nicolle, 2013. L'IMPORTANCE EN NUTRITION PRÉVENTIVE DES PRODUITS VÉGÉTAUX COMPLEXES : POMME DE TERRE, LEGUMES SECS, FRUITS ET LEGUMES

49. Clarke AJ, Cox PM, Shepherd AM. Chemical composition of egg shells of potato cyst nematode *Heteroderarostochiensis*swoll. *Biochem J.* 1967;104:1056-60. <https://doi.org/10.1042/bj1041056>
50. Clarke, A. J., & Perry, R. N. (1977). Hatching of cyst-nematodes. *The Different Aspects of the Cyst-nematodes of the Globodera-Heterodera complex*, 350-368
51. Concepts and laboratory exercises. CRC Press, Washington,702.
52. Cox GN, Kusch M, Edgar RS. Cuticle of *Caenorhabditis elegans*: its isolation and partial characterization. *JCB.* 1981 ;90(1):7-17. <http://dx.doi.org/10.1083/jcb.90.1.7>
53. Croll, N.A.(1970).Sensorybasisofactivationinnematodes.*Experimental parasitology*, 27(3), 350-356.
54. Cronin D, Moenne-Loccoz Y, Fenton A, Dunne C, Dowling DN, O'gara F. Role of 2,4-Diacetylphloroglucinol in the interactions of the biocontrol *Pseudomonas* strain F113 with the potato cyst nematode, *Globoderarostochiensis*. *Appl Environ Microbiol.* 1997;63(4):1357-61. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.63.4.1357-1361.1997>
55. Czajkowski, R., De Boer, W. J., Velvis, H., & Van Der Wolf, J. M. (2010). Systemic colonization of potato plants by a soilborne, green fluorescent protein-tagged strain of *Dickeya* sp. biovar 3. *Phytopathology*, 100(2), 134-142.
56. DaCunha,M.J.M.,DaConceicao,I.L.P.,deO.ABRANTES,I.M.,&deA.SANTOS, M. S. N. (2012). Virulence assessment of Portuguese isolates of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.). *PhytopathologiaMediterranea*, 51-68.
57. Davies, M., &Buisine, S. (2018). Innovation culture in organizations. *Science, technology and innovation culture*, 3, 101-115.
58. Den Nijs L.J.M.F. et Lock C.A.M., 1992 – Differential hatching of the potato Cyst nematode *Globodera rostochiensis* and *G. pallid* in root diffusates and water of differing ionic composition. *NethJ.PL.Path.*, Vol. 98, pp. 117 – 128
59. Desjardins, A.E .,&Proctor,R.H.(2007).MolecularbiologyofFusariummycotoxins. *International journal of food microbiology*, 119(1-2), 47-50.
60. Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, statistiques agricoles superficie et production serie « B » 2019 juillet 2021
61. Djebroune A. 2013. contribution a l'étude de la bioécologie des nématodes a kystes (*Globoderasp*) inféodés a la culture de pomme de terre. thèse.
62. DJEBROUNE, A. (2019).*Etude de la bioécologie des nématodes à kystes du genre Globodera inféodés à la culture de la pomme de terre* (Doctoral dissertation).
63. Djian□Caporalino C. Root□knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), a growing problem in French vegetable crops. *EPPO Bull.* 2012;42(1):127-37. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2338.2012.02530.x>
64. Doncaster, C. C., & Seymour, M. K. (1973). Exploration and selection of penetration sitebyTylenchida
65. Duvauchellesergephytomejanvier2013.pomme de terred'horizonarasdusol.
66. EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2012. Scientific Opinion on the risks to plant health posed by European versus non-European populations of the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *Globoderarostochiensis*. European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy

67. El Gharra, Y., Bouzoubaâ, Z. & Ait Lhaj, A. (2011). Comparaison de l'effet fertilisant et contrôle des nématodes des tourteaux de neem, tourteau de ricin, tourteau d'argan et feuilles d'argan sur une culture de courgette en conduite biologique. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir: 442-447
68. El Hajji Lobna et Najet Horrigure-Raouani 2012. Efficiency of Solarization and Incorporation of Cattle Manure in Management of *Meloidogyne javanica* (Treub.) Chitwood and *Globodera pallida* (Stone) Behrens Associated with Potato
69. Ellenby, C., & Perry, R. N. (1976). The influence of the hatching factor on the water uptake of the second stage larva of the potato cyst nematode *Heterodera rostochiensis*. *Journal of Experimental Biology*, 64(1), 141-147.
70. Emmert EAB and Handelsman J. Biocontrol of plant disease: A (Gram-) positive perspective. *FEMS Microbiol Lett.* 1999;171(1):1-9. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13405.x>
71. European Food Safety Authority, 2012. Scientific Opinion on the risks to plant health posed by European versus non-European populations of the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis*. *EFSA Journal* 2012;10(4):2644 <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2644>
72. Evans, A.A Fand R.N Perry 1976 survival strategies in nematode P.P 383-424 in *Evans, A.A & Ferris, H. (eds) The Organisation of Nematode London*; Academic press)
73. Evans, K., & Stone, A. R. (1977). A review of the distribution and biology of the potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Pans*, 23(2), 178-189
74. FAO
75. Fenwick, D. W. (1940). Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera schachtii* from soil. *Journal of helminthology*, 18(4), 155-172.
76. Ferris, H., & Van Gundy, S.D. (1979). *Meloidogyne* ecology and host relationships.
77. Ferris, H., Venette, R. C., & Lau, S. S. (1996). Dynamics of nematode communities in tomatoes grown in conventional and organic farming systems, and their impact on soil fertility. *Applied Soil Ecology*, 3(2), 161-175.
78. Fleming CC., et Powers TO., 1998 a. Potato cyst nematodes: species, pathotypes and virulence concepts in *Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution, and Control*. CAB International. UK. Pp. 51-57.
79. Franco, J. (1979). Effect of temperature on hatching and multiplication of potato cyst-nematodes.
80. Franco, J., Oros, R., Main, G., & Ortuño, N. (1998). Potato cyst nematodes (*Globodera* species) in South America.
81. Franklin, M. T. (1951). The cyst forming species of *Heterodera*.
82. 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
83. Friedman, W. 1985. Pests not known to occur in the United States or of limited distribution, no. 69: potato cyst nematode. United States Department of Agriculture, Plant Protection and Quarantine
84. Fudali, S., & Golinowski, W. (2007). The reorganization of root anatomy and ultrastructure of syncytial cells in tomato [*Lycopersicon esculentum* Mill.] infected with potato cyst nematode [*Globodera rostochiensis* Woll.]. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 76(3).
85. Gair, R., P. L. Mathias, and N. P. Harvey. 1969. Studies of cereal cyst nematode populations and cereal yields under continuous or intensive culture. *Annals of Applied Biology* 63:503-512.

86. Gao H, Qi G, Yin R, Zhang H, Li C, Zhao X. *Bacillus cereus* strain S2 shows high nematocidal activity against *Meloidogyne incognita* by producing sphingosine. *Sci Rep.* 2016;6:28756. <http://dx.doi.org/10.1038/srep28756>
87. Gintis, B. O., Morgan-Jones, G., & Rodriguez-Kabana, R. (1983). Fungi associated with several developmental stages of *Heterodera glycines* from an Alabama soybean field soil. *Nematropica*, 181-200.
88. Gonzalez, J. A., & Phillips, M. S. (1996). Hatching behavior of potato cyst nematodes from the Canary Islands. *Journal of Nematology*, 28(4), 451.
89. Graham, C. W. (1980). The effects of rainfall and soil type on the population dynamics of cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) on spring barley (*Hordeum vulgare*) and spring oats (*Avena sativa*). *Annals of Applied Biology*, 94(2), 243-253.
90. Granek, I. (1955). Additional morphological differences between the cysts of *Heterodera rostochieris* and *Heterodera tabacum*.
91. Greco N, Brandonisio A, Dangelico A (2000) Control of potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis* with soil solarization and nematicides. *Nematologia Mediterranea* 28, 93-99
92. GRECO N., 1988 – Potato cyst Nematodes: *Globodera rostochiensis* and *G. pallid.* Fla. Dept. Agri. et Consumer Serv., Nematologist, Agraria, Italy, n°: 337
93. Greco, N., Brandonisio, A., & De Cosmis, P. (2007). Pathotypes and heterogeneity of Italian populations of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologia Mediterranea*.
94. Greco N., Di Vito M., Parisi B., Ranalli P., Brandonisio A. et Catalano F., 2007-Resistance of new Italian potato breeding clones to cyst and rootknot nematodes. *Nematol. mediterr.*, 35: 227-235
95. Grenier, E., Foumet, S., Petit, E. et Anthoine, G. (2010). A cyst nematode 'species factory' called the Andes. *Nematology* 12, 163-169.
96. Grogan, R. G., Kimble, K. A., & Misaghi, I. R. A. J. (1975). A stem canker disease of tomato caused by *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici*
97. GRUNDLER, F BETKA, M. & WYSS, U. (1991). Influence of changes in the nurse cell system (syncytium) on sex determination and development of the cyst nematode *Heterodera schachtlii*: total amounts of proteins and amino acids. *Phytopathology*, 81 : 70-74.
98. Guignard, J. L., & Dupont, F. (2015). *Botanique: les familles de plantes*. Elsevier Health Sciences.
99. GUIRAN, G., & Demeure, Y. (1978). Influence du potentiel hydrique des sols sur les masses d'ufs de *Meloidogyne incognita* (Nematoda: Meloidoginidae). *Revue de Nématologie*, 1, 119-134.
100. Hague, N. G. M., & Gowen, S. R. (1987). Chemical control of nematodes.
101. Hancock, J. G. (1996). Fungal and bacterial diseases of North American forage crops. *Pasture and forage crop pathology*, 163-186.
102. Hazelton, P., & Murphy, B. (2016). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?*. CSIRO publishing.
103. Hélias, V. (2008). *Pectobacterium* spp. et *Dickeya* spp. de la pomme de terre: nouvelle nomenclature pour *Erwinia* spp., symptomatologie, épidémiologie et prophylaxie. *Cahiers Agricultures*, 17(4), 349-354.
104. Heungens K, Mugniéry D, Van Montagu M, Gheysen G, Niebel A. A method to obtain disinfected *Globodera* infective juveniles directly from cysts. *Fundam Appl Nematol.* 1996;19(1):91-93.
105. Hijink, M. J. (1972). An integrated approach in the control of potato root eelworm. *EPPO Bulletin*, 2(7), 41-47

106. Hlaoua, W., Kallel, S., & Horrique-Raouani, N. (2010). Effets des composantes de l'environnement et des pratiques culturales sur les communautés des nématodes associées à la culture de pomme de terre en Tunisie. *Nematologia Mediterranea*.
107. Hominick WM, Forrest JM and Evans AAF (1985) Diapause in *Globoderarostochiensis* and variability in hatching trials. *Nematologica* 31: 159–170
108. Horrique-Raouani N, B'Chir MM (1998) Efficacité de la solarisation dans la lutte contre les *Meloidogynes* spp. Sous serre froide. *Medelingen Rijkskulten Landbouw Wetenschappen Gent* 63, 659-668
109. <https://www.xlstat.com/fr/solutions/fonctionnalites/analyse-en-composantes-principales-acp>
110. I.N.P.V., 2009. (Institut national de la protection des végétaux) - Nématodes à kyste de la pomme de terre *Globoderarostochiensis* et *Globodera pallida*. Ed. INPV, 4p.
111. Ibrahim I.K., Halim Abi Saad, and Nisrin Mousa. 2004, potato cyst nematodes *Globodera* spp. in Lebanon - occurrence and distribution., S. P. P. I. N. (*Lebanese Science Journal*, 5(1), 25.
112. Ibrahim, I. K. A., & El-Sharkawy, T. A. (2001). Genera and species of phytoparasitic nematodes and the associated host plants in Egypt
113. Ibrahim, I.K. A., Handoo, Z.A., & Basyony, A. B. (2017). The cyst nematodes *Heterodera* and *Globodera* species in Egypt.
114. Ibrahim, S., Saad, A., Haydock, P. P., & Al-Masri, Y. (2000). Occurrence of the potato cyst nematode *Globoderarostochiensis* in Lebanon. *Nematology*, 2(2), 125-128.
115. Jacquier H, Carbonnelle E, Corvec S, Illiaquer M, Le Monnier A, Bille E et al. Revisited distribution of nonfermenting Gram-negative bacilli clinical isolates. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2011;30(12):1579-86. <https://doi.org/10.1007/s10096-011-1263-5>
116. James A. Price, Danny Coyne, Vivian C. Blok, John T. Jones, 2020. Potato cyst nematodes *Globoderarostochiensis* and *G. pallida*
117. Jang JY, Choi YH, Shin TS, Kim TH, Shin KS, Park HW et al. Bio-logical control of *Meloidogyne incognita* by *Aspergillus niger* F22 producing oxalic acid. In: Han KH, editor. *Plos One*. 2016;11(6):1-15. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0156230>
118. Janowicz K, Wronkowska H, Mazurkiewicz-Zapalowicz KD. Inter-actions between *Globoderarostochiensis* Woll. and *Rhizoctonia solani* Kuhn on the potato. *Acta Microbiol. Pol.* 1994;43(2):205-10.
119. Janvier Franco, 1972. Nématode à kyste de la pomme de terre. *Chapin la pomme de terre bulletin d'information technique* 1 à 19. Centre international de la pomme de terre (CIP)
120. Jatala, P. (1987). Nématodes parasites de la pomme de terre. *LA POMME DE TERRE: BULLETINS D'INFORMATION TECHNIQUE [Perú]*, 1(19), 49-56.
121. Jiang C, Song J, Zhang J, Yang Q. Identification and characterization of the major antifungal substance against *Fusarium sporotrichioides* from *Chaetomium globosum*. *World JMB*. 2017;33:1-9. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-017-2274-x>
122. Jones, R. K. (2017). Nematode control and nematicides: developments since 1982 and future trends. *Nematology in South Africa: a view from the 21st century*, 129-150.

123. Kachacha, S., Ibrahim, S. K., Kachacha, G., Ibrahim, L., Jreijiri, F., Elbeaino, T., & Choueiri, E. (2020). Potato cyst nematodes *Globodera* spp. in the Bekaa valley, Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 21(1), 54.
124. Kaczmarek, A., Mackenzie, K., Kettle, H., & Vivian, B. L. O. K. (2014). Influence of soil temperature on *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Phytopathologia Mediterranea*, 53(3), 396-405.
125. Kada, R., Fatiha, A. R., Aissa, M., & Zohra, M. F. (2016). Study of natural antagonists of cereals cyst nematode "Heterodera avenae" in Algeria. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 6(6), 28-35.
126. Kakaire, S., Grove, I. G., & Haydock, P. P. (2012). Effect of temperature on the life cycle of *Heterodera schachtii* infecting oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Nematology*, 14(7), 855-867.
127. Kakembo, D., & Lee, Y. H. (2019). Analysis of traits for biocontrol performance of *Pseudomonas parafulva* JBCS1880 against bacterial pustule in soybean plants. *Biological Control*, 134, 72-81.
128. Kerry, B. (1988). Fungal parasites of cyst nematodes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 24(1-3), 293-305.
129. Kerry, B. R. and Hominick, W. M. (2002) Biological control. In: Lee, D. L. (ed.) *The Biology of Nematodes*. Taylor & Francis, London, pp. 483-509.
130. Khan Zand Kim YH. A review on the role of predatory soil nematodes in the biological control of plant parasitic nematodes. *Appl Soil Ecol.* 2007;35(2):370-79 <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.07.007>
131. Kind R, Zeeck A, Grabley S, Thiericke R, Zerlin M. Secondary metabolites by chemical screening. 30. Helmidol, a New Macrodiolide from *Alternaria alternata*. *J Nat Prod.* 1996;59(5):539-40. <http://dx.doi.org/10.1021/np960083q>
132. L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail travail 2016. Utilisation de variétés résistantes de pommes de terre dans des champs contaminés par des nématodes à kyste (*Globodera* spp.) Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective, **saisine n° « 2015-SA-0242 »**. [www.anses.fr](http://www.anses.fr)
133. Lavigne, C., Wicker, E., Mbolidi-Baron, H., Salmon, F., & Horry, J. P. (2005). L'amélioration variétale : un outil pour l'agriculture biologique.
134. Lee YS and Kim KY. Antagonistic potential of *Bacillus pumilus* L1 against root knot nematode, *Meloidogyne arenaria*. *J Phyto-pathol.* 2015;164(1):29-39. <http://dx.doi.org/10.1111/jph.12421>
135. Lefki, K. (2018). *Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie: système d'information* (Doctoral dissertation, CIHEAM-IAMM).
136. Li G, Zhang K, Xu J, Dong J, Liu Y. Nematicidal substances from fungi. *Recent Pat Biotechnol.* 2007;1(3):212-33. <http://dx.doi.org/10.2174/187220807782330165>
137. Litaladio, N., & Prakash, A. (2010). La pomme de terre: histoire et développement économique. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(6), S5-S16.
138. Mackesy, D, T. Molet, and M. Sullivan. 2014. CPHST Pest Datasheet for *Globodera pallida*. USDA-APHIS-PPQ-CPHST

139. Madani, M., Subbotin, S. A., Ward, L. J., Li, X., & De Boer, S. H. (2010). Molecular Characterization of Canadian populations of potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* using ribosomal nuclear RNA and cytochrome b genes. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 32(2), 252-263.
140. Martinez-Beringola ML, Salto T, Vázquez G, Larena I, Melgarejo P, De Cal A. *Penicillium oxalicum* reduces the number of cysts and juveniles of potato cyst nematodes. *J Appl Microbiol.* 2013;115(1):199-206. <http://dx.doi.org/10.1111/jam.12213>
141. MAZOYER.M(2002). AGRICOLE, L. *Canada*. 767p.
142. McMillan, G.P., Hedley, D., & Pérombelon, M.C.M. (1993). Activation of pectate Lyase from *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica* by potato tuber tissue extract. *Physiological and molecular plant pathology*, 42(1), 1-8
143. McSorley R, Gallaher RN (1996) Effect of yard waste compost on nematode densities and maize yield. *Journal of Nematology* 28, 655-660.
144. Meagher J.W., 1970. Seasonal fluctuation in number of larvae of the cereal cyst
145. (*Heterodera avenae*) and *Pratylenchus minyus* and *Tylenchorhynchus brevidens* in soil. *Rev. Nematologica*, V. 16, Leiden, pp. 333-347.
146. Mekhaneg Abdelkader Etude des effets de la salinité des sols sur les nématodes à kystes (*Heterodera*) des céréales et dorés de la pomme de terre (*Globodera*). Cas des sols de la plaine du bas-Cheliff
147. Messiaen, C.M., Blancard, D., & Rouxel, F. (1991). *Les maladies des plantes maraîchères*, 3e éd. Editions Quae.
148. Meyer S, Huettel R, Liu XZ, Humber R, Juba J, Nitao J. Activity of fungal culture filtrates against soybean cyst nematode and root-knot nematode egg hatch and juvenile motility. *Nematology*. 2004;6(1):23-32. <http://dx.doi.org/10.1163/156854104323072883>
149. Meyer SL. United States Department of Agriculture—Agricultural Research Service research programs on microbes for management of plant-parasitic nematodes. *Pest Manag Sci.* 2003;59(6-7):665-70. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.708>
150. Mezerket A., Hammache M., Cantalapietra-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.
151. MEZERKET, A. (2018). *Bioécologie des nématodes dorés de la pomme de terre du genre Globodera dans quelques régions de l'Algérie* (Doctoral dissertation, ENSA).
152. Ministère agricole du développement rural (MADR) 2019.
153. Ministère de l'agriculture du développement rural et de la pêche (MADRP)
154. Minnis, S. T., Haydock, P. P. J., Ibrahim, S. K., Grove, I. G., Evans, K., & Russell, M. D. (2002). Potato cyst nematodes in England and Wales—occurrence and distribution. *Annals of Applied Biology*, 140(2), 187-195.
155. Mokabli, A., 2002, "Biologie des nématodes à kystes "Heterodera" des céréales en Algérie. Virulence de quelques populations à l'égard de diverses variétés et lignées de céréales," These Doc. INA. Agro., El-Harrach-Alger
156. Morgan, G. D., MacGuidwin, A. E., Zhu, J., Binning, L. K., 2002. Population Dynamics and Distribution of Root Lesion Nematode (*Pratylenchus penetrans*) over a Three-Year Potato Crop Rotation. *Agronomy Journal*, 94, 1146-1155
157. MOTIULQ., 2010— Diagnostic Methods For Potato Cyst Nematodes, *Globodera* spp. Plant Biosecurity toolbox (PaDIL), CRC, 27 p.

158. Moxnes J.F et Hausken K., 2007-the population dynamics of potato cyst nematodes. *Ecologicalmodelling*, 207:339-348.
159. MugnieryD.,etFayetG.,1984–DéterminationdusexedeGloboderarostochiensis Woll. et influence des niveaux d'infestation sur la pénétration, le développement et le sexe de ce nématode. *Revue Nématode*, Vol. 7, n°: 03, pp. 233 – 238
160. MUGNIERY,D.(1975).Importancedesdegatsprovoquesparlesnematodesakystes de la pomme de terre. *H. rostochiensis*woll et *H. pallidast*.
161. Mugniery, D. (1976) Etablissement d'un modele de dynamique de population d'*Heterode rapallida* (Stone) : applications à un cas pratique de lutte intégrée. *Ann. 2001. Ecol. anim.*, 8 : 315-329.
162. Mugniery, D., & 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.
163. MuhammadZ.,1990–DiapauseintheneematodesGloboderarostochiensisandG. pallida. PhD Thesis, University of London, pp 155
164. Nakachian,J.M.(1971).Nematologicalanalysis.
165. Nakasone KK, Peterson SW, Jong SC. Preservation and distribu-tion of fungal cultures. *Biodiversity of Fungi*. 2004;p 37-47. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-012509551-8/50006-4>
166. Nathalie Beaudoin, Carole Beaulieu, Dominique Michaud et André Gagnon, 2016. Amélioration dela résistance àla gale communedelapommedeterreparlaproduction de somaclones chez des variétés cultivées au Québec
167. Nielsen, T. H., Christophersen, C., Anthoni, U., & Sørensen, J. (1999). Viscosinamide, a new cyclic depsipeptide with surfactant and antifungal properties produced by *Pseudomonas fluorescens* DR54. *Journal of AppliedMicrobiology*, 87(1), 80-90.
168. NiereB,KaruriHW(2018)Nematodeparasitesofpotatoandsweetpotato.In:Sikora RA, Coyne D, Hallmann J, Timper P (eds) *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. CAB International, Boston, USA, pp 222–251
169. NighEA, ThomasonIJ, Van GundySD. Identification anddistributi-onoffungal parasites of *Heteroderaschachtii* eggs in Cali-fornia. *Phytopathology*. 1980;70(9):885-89. <http://dx.doi.org/10.1094/phyto-70-884>
170. Nigh, E. A., Thomason, I. J., & Van Gundy, S. D. (1980). Identification and distribution of fungal parasites of *Heteroderaschachtii* eggs in California. *Phytopathology*, 70(9), 885-889.
171. Nikitin, V. S. 1972. Findings of potato nematode in Ukraine. *Nematodnyyebolezni s.-kh. kultur imerybor'by s nimi.M.*, 87 [In Russian].
172. Norton, D.C. (1989). Abiotic soil factors and plant-parasitic nematode communities. 1. *Nematol.*21 : 299-307.
173. Nusbaum c. I. and Howard Ferris,1973. The role of cropping systems in nematode population management.
174. Oka Y (2010) Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments - A review. *AppliedSoilEcology* 44, 101-115.
175. Olsenand, O.A. et Mulvey, R.H. (1962). The discovery of golden nematode in Newfoundland. *Can. Plant Dis. Surv.* 42, 253.
176. Omoboye O.O., Oni F.E., Batool H., Yimer H.Z., De Mot R., Höfte M. 2019.*Pseudomonas* cyclic lipopeptides suppress the rice blast fungus *magnaporthe oryzae* by induced resistance and direct antagonism. *Front. Plant Sci.* 10

177. Ossen Bouraima, Sarah Jean-Louis, Hugon Rémy. 1997. Effet du pH du sol sur le développement des populations de *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) dans les racines d'ananas et sur la croissance et le rendement de la plante.
178. Ouden, H.D. 1960. Note on parthenogenesis and sex determination in *Heterodera stochiensis* Woll.
179. Padgham J L and Sikora R A. Biological control potential and modes of action of *Bacillus megaterium* against *Meloidogyne graminis*-cola on rice. *Crop Prot.* 2007;26(7):971-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2006.09.004>
180. Pandey M, Patel SS, Gabriel A. Kinetic pathway of pyrophosphate hydrolysis by a retrotransposon reverse transcriptase. *PLoS One.* 2008;3(1):e1389. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0001389>
181. Perry, R.N. (1989). Dormancy and hatching of nematode eggs. *Parasitology today*, 5(12), 377-383.
182. Popovic NT, Kazazic SP, Strunjak-Perovic I, Coz-Rakovac R. Differentiation of environmental aquatic bacterial isolates by MALDI-TOF MS. *Environ Res.* 2017;
183. Price, J. A., Coyne, D., Blok, V. C., & Jones, J. T. (2021). Potato cyst nematodes *Globodera stochiensis* and *G. pallida*. *Molecular Plant Pathology*, 22(5), 495-507.
184. Pudasaini, M. P., Schomaker, C. H., Been, T. H., & Moens, M. (2006). Vertical distribution of the plant-parasitic nematode, *Pratylenchus penetrans*, under four field crops. *Phytopathology*, 96(3), 226-233.
185. Racker, J., & Sikora, R. A. (1992). Influence of the plant health-promoting rhizobacteria *Agrobacterium radiobacter* and *Bacillus sphaericus* on *Globodera pallida* root infection of potato and subsequent plant growth.
186. Rappilly, F. (1968). Les techniques de mycologie en pathologie végétales. *Institut National de la Recherche Agronomique, INRA, Paris*, 102p.
187. Rasmann, S., Ali, J. G., Helder, J., & van der Putten, W. H. (2012). Ecology and evolution of soil nematode chemotaxis. *Journal of Chemical Ecology*, 38, 615-628.
188. Reddy P.P., 1983. *Plant Nematology*. Agricole Publishing Academy, New Delhi, India, 287-288.
189. Reddy, K. C., Soffes, A. R., Prine, G. M., & Dunn, R. A. (1986). Tropical Legumes for Green Manure. II. Nematode Populations and Their Effect on Succeeding Crop Yields. *1. Agronomy Journal*, 78(1), 5-10.
190. Renčo, M., Sasanelli, N., & Kováčik, P. (2011). The effect of soil compost treatments on potato cyst nematodes *Globodera stochiensis* and *Globodera pallida*. *Helminthologia*, 48, 184-194.
191. Réseau d'avertissement phytosanitaire. mildiou de la pomme de terre: mesure de lutte préventives. Bulletin d'information N°6-26 mai 2015.
192. Reust, W. (1982). *Contribution à l'appréciation de l'âge physiologique des tubercules de pommes de terre (Solanum tuberosum L.) et étude de son importance sur le rendement* (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
193. Righi K. Bioécologie des nématodes à kystes "heterodera" inféodés aux cultures céréalières et aux graminées sauvages dans l'Ouest Algérien [Doctoral dissertation], Mascara: Université Mustapha Stambouli; 2016.

194. Righi.K(2016). *Bioécologie des Nématodes à Kystes "Heterodera" inféodés aux cultures céréalières et aux graminées sauvages dans l'Ouest Algérien*(Doctoral dissertation, Université Mustapha Stambouli de Mascara).
195. Rivoal, R. (1983). Biologie d'Heterodera avenae Wollenweber en France. III. Evolution des diapauses des races Fr1 et Fr4 au cours de plusieurs années consécutives; influence de la température. *Revue de nématologie*, 6, 157-164.
196. Rodriguez-Kabana R, Morgan-Jones G, Chet I (1987) Biological control of nematodes: Soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil* 100, 237-247
197. Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C, 1996-l'apoméditerranée: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation. Ed. INRA, Paris 607p.
198. RYAN N.A., et JONES P., 2004 - The ability of rhizosphere bacteria isolated from nematode host and non-host plants to influence the hatch in vitro of the two potato cyst nematode species, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematology*, vol.06 , N°: 03, pp.375-387
199. Ryan NA and Jones P. The ability of rhizosphere bacteria isolated from nematode host and non-host plants to influence the hatch in vitro of the two potato cyst nematode species, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematology*. 2004;6(3):375-87. <http://dx.doi.org/10.1163/1568541042360528>
200. Ryan, N. A., Jones, P. W., & Devine, K. (2005). The effect of competition between *G. rostochiensis* and *G. pallida* on PCN multiplication rates on non-resistance potato cultivars. *Proceedings of advances in potato cyst nematode management*, 1.
201. Sadek AM. "Plant nematology-an agricultural training aid."(1977): 157-pp.
202. Salaman RN. The history and social influence of the potato. Revised impression, edited with a new introduction by J.-G. Hawkes. Cambridge: Cambridge University Press, [1949] 1985, p.1-685 [IYP. The potato origins – Andean Heritage. 2008. <http://www.potato2008.org/en/potato/origins.html>. [Accessed on September 20th, 2010]
203. Salazar A. et 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 *G. pallida*. *Fundam. appl. Nématol.*, vol. 16, N°: 06, pp.567-572
204. Salvamani S and Nawawi NM. Macroscopic and microscopic approaches for identification of fungi from plant soil of cameron highlands. *BSTR*. 2014,2(1):14-18. <http://dx.doi.org/10.54987/bstr.v2i1.68>
205. Sanders ER. Aseptic laboratory techniques: Plating methods. *J Vis Exp*. 2012;63:3064. <http://dx.doi.org/10.3791/3064-v>
206. Schneider J et Mugniery M, 1971. Les nématodes parasites de la pomme de terre in *Les nématodes des cultures*. Ed .ACTA, Paris, pp.327-348.
207. Scotto La Massese C., 1961. Aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie. *Journée d'Etude Interntion le. ACTA, F.N.G.P.C.*, Paris, 2p.
208. Seenivasan, N. (2017). Status of root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* infection on carrot at Kodaikanal hills of Tamil Nadu, India and its yield loss estimation. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 6(9), 3629-3635.
209. Seenivasan, N., K. Devrajan and N. Selvaraj. 2007. Management of potato cyst nematodes, *Globodera* spp. through biological control. *Indian J. Nematol.* 37: 27-29.
210. Seibold E, Maier T, Kostrzewa M, Zeman E, Splettstoesser W. Identification of *Francisella tularensis* by whole-cell matrix-assisted laser desorption/ionization-time of

- flight mass spec-trometry: Fast, reliable, robust and cost-effective differentiation on species and subspecies levels. *J Clin Microbiol.* 2010;48(4):1061-69. <http://dx.doi.org/10.1128/jcm.01953-09>
211. Siddiqui ZA and Mahmood I. Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: A review. *Bioresour Technol.* 1999;69(2):167-79. [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524\(98\)00122-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(98)00122-9)
212. 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(2): 133-144.
213. Smedsgaard J and Nielsen J. Metabolite profiling of fungi and yeast: From phenotype to metabolome by MS and informatics. *J Exp Bot.* 2004;56(410):273-86. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/eri068>
214. Soltner, D. (1985). L'arbre et la haie pour la production agricole, pour l'équilibreécologique, et le cadre de vie rurale.
215. Soltner,D.(2003). Lesbasesdelaproductionvégétale.
216. Sosa MOSS, C. (1966). Contribution ci l'étuded'unnérna- todephytoparasite : *Heteroderaavenae*Woll. TheseFacultédes sciences, Univ.Paris, 149 p.
217. source:<https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles>
218. Stone, A.R.1972.*Heteroderapallidan.sp.(Nematoda:Heteroderidae)*,asecond species of potato cyst nametode. *Nematologica*18: 591-606.
219. Stone, A.R., Thompson, P.R. et Hopper, B.E. (1977). *Globodera pallida* present in Newfoundland [Potato cyst nematodes]. *Plant. Dis. Rep.* 61,
220. Subbotin, S. A., Sainz, C., Villarroel, C. L., & Franco, J. (2023). Molecularcharacterisation of the potato cyst nematode, *Globoderaellingtonae* Handoo et al., 2012 (Tylenchida: Heteroderidae) from Bolivia. *Nematology*, 1(aop), 1-9.
221. Subbotin, S.A., Mundo-Ocampo, M., and Baldwin, J.G. 2010. Systematics of Cyst Nematodes (Nematoda: Heteroderinae). *Nematology Monograph and Perspectives Volume 8A*. Brill, Leiden-Boston, 351 pp.
222. Swiecicka, M.,Filipecki,M.,Lont,D.,VanVliet,J.,Qin,L.,Goverse,A.,...&Helder, J. (2009). Dynamics in the tomato root transcriptome on infection with the potato cyst nematode *Globoderarostochiensis*. *Molecular Plant Pathology*, 10(4), 487-500.
223. SZILVASI, S. (2013). Nématodes des pommes de terre, que demande la loi?: Fruits et légumes. *Phytoma-La Défense des végétaux*, (660), 20-25.
224. Thompson, H.W., Roebuck, A., Cooper, B.A, 1949 Floods and the spread of potato root eelworm. *Jour. Minist. Agric.*, 56, 109-114
225. Tian B, Yang J, Zhang KQ. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of ac-tion and future prospects. *FEMS MicrobiolEcol.* 2007;61(2):197-213. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00349.x>
226. Tournus C, Lemée L, Nouvellon M, Pestel-Caron M. Identifica-tion des *Pseudomonassp.* par spectrométrie de masse type MALDI-TOF. In *RICAI*. 2016. Availablefrom:<https://normandie-univ.hal.science/hal-02269271>
227. Tria,M.,&Chehat,F.(2013).Typologiedesproducteursdepommeeterredansla région d'ain defla. *Les cahiers du CREAD*, 103, 107-136.

228. Trifonova Z, Tsvetkov I, Bogatzevska N, Batchvarova R. Efficiency of *Pseudomonas* spp. for biocontrol of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Woll.). *Bulg. J. Agric. Sci.* 2014;20(3):666-69.
229. Trigiano R.N., Windham M. T. et Windham A.S., 2004. *Plant pathology*:
230. Trigiano, R.N., & Gray, D.J. (2004). *Plant development and biotechnology*. CRC Press.
231. Trudgill, D.L., Webster, J.M., & Parrott, D.M. (1967). The effect of resistant solanaceous plants on the sex ratio of *Heterodera rostochiensis* and the use of the sex ratio to assess the frequency and genetic constitution of pathotypes. *Annals of Applied Biology*, 60(3), 421-428.
232. Trudgill, D., Honek, A. D. L. I., Li, D., & van Straalen, N. M. (2005). Thermal time—concepts and utility. *Annals of Applied Biology*, 146(1), 1-14.
233. Trudgill, D.I., Evans, K., and Philipps, M.S. 1998. Potato cyst nematode damage mechanisms and tolerance in the potato. Pp. 117-133. In R.J. Marks and B.B. Brodie (eds.). *Potato Cyst Nematode: Biology, distribution and control*. CAB International, Wallingford, UK.
234. Trudgill, D.L. 1987. Effects of rates of nematicide and of fertiliser on growth and yield of cultivars of potato which differ in their tolerance of damage by potato cyst nematodes (*G. rostochiensis* and *G. pallida*). *Plant & Soil*, 104:185-193.
235. Turner, S. J., & Evans, K. (1998). The origins, global distribution and biology of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* (Woll.) and *Globodera pallida* Stone).
236. Turner, S. J., & Subbotin, S. A. (2006). Cyst nematodes. *Plant nematology*, 91-122.
237. Turner, S.J. (1996). Population decline of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis*, *G. pallida*) in field soils in Northern Ireland. *Ann. Appl. Biol.* 129, 315-322.
238. Van der Putten, W. H., Cook, R., Costa, S., Davies, K. G., Fargette, M., Freitas, H., ... & van der Wurff, A. W. (2006). Nematode interactions in nature: models for sustainable control of nematode pests of crop plants? *Advances in Agronomy*, 89, 227-260.
239. Van der Voort, J.R., Wolters, P., Folkertsma, R., Hutten, R., van Zandvoort, P., Vinke, H., et al. (1997). Mapping of the cyst nematode resistance locus *Gpa2* in potato using a strategy based on comigrating AFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 95, 874– 880. <http://dx.doi.org/10.1007/s001220050638>
240. Van der Vossen, E.A.G., van der Voort, J.N.A.M.R., Kanyuka, K., Bendahmane, A., Sandbrink, H., Baulcombe, D.C. et al. (2000) Homologues of a single resistance-gene cluster in potato confer resistance to distinct pathogens: A virus and a nematode. *The Plant Journal*, 23, 567–576. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113.x.2000.00814.x>
241. Van der Waals, J. E., Krüger, K., Franke, A. C., Haverkort, A. J., & Steyn, J. M. (2013). Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 3. Effects on relative development rates of selected pathogens and pests. *Potato Research*, 56, 67-84.
242. Verma N., Verma S. 2010: Alternaria diseases of vegetable crops and new approaches for its control. *Asian Journal of Biological Science*, 1:681-692.
243. Viaene, N., Coyne, D. L., & Kerry, B. R. (2006). Biological and cultural management. In *Plant nematology* (pp. 346-369). Wallingford UK: Cabi.
244. Vieira, P., Danchin, E.G., Neveu, C., Crozat, C., Jaubert, S., Hussey, R.S., ... & Rosso, M. N. (2011). The plant apoplast is an important recipient compartment for nematode secreted proteins. *Journal of experimental botany*, 62(3), 1241-1253.
245. Vurro M, Evidente A, Andolfi A, Chiara Zonno M, Giordano F, Motta A. Brefeldin A and  $\alpha$ ,  $\beta$ -dehydrocurvularin, two phytoalexins from *Alternaria zinniae*, a biocontrol agent of

Xanthium occi-dentale. Plant Sci. 1998;138(1):67-79. [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(98\)00131-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(98)00131-9)

246. Wang, K.H., Sipes, B.S., Schmitt, D.P., 2001. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*. *Nematropica* 31, 235-249.
247. Whitehead, A. G., Bromilow, R. H., Fraser, J. E., & Nichols, A. J. F. (1985). Control of potato cyst-nematode, *Globoderarostochiensis*, and root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, by organosphosphorus, carbamate, benzimidazole and other compounds. *Annals of Applied Biology*, 106(3), 489-498.
248. WidiyantoD, PramitaAD, KurniasariI, ArofathullahNA, PrijambadaID, WidadaJ, Indarti S. *Bacillus* is one of the most potential genus as a biocontrol agent of golden cyst nematode *Globoderarostochiensis*. *Arch Phytopathol.* 2021;54(19-20):2191-205. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2021.1925501>
249. WilkinsCL and LaoJO. Identification of microorganism by mass-spectrometry. Hoboken: John Wiley and Sons Inc, 1st ed. 2006
250. Wu L., Xiao W., Chen G., Song D., Khaskheli M.A., Li P., Zhang S., Feng G. 2018. Identification of *Pseudomonas mosselii* BS011 gene clusters required for suppression of rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *J. Biotechnol.* 282:1-9
251. Wyss, U. F. M. W., Grundler, F. M., & Münch, A. (1992). The parasitic behaviour of second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita* in roots of *Arabidopsis thaliana*.
252. YAYA-LANCHEROS, M. L., & CHAPARRO-GIRALDO, A. L. E. J. A. N. D. R. O. (2009). REGENERATION AND MANNOSE SENSIBILITY IN POTATO INTERNODAL EXPLANTS (*Solanum tuberosum* spp. andígena Var Diacol Capiro). *Acta Biológica Colombiana*, 14(1), 143-154
253. YAYA-LANCHEROS, M. L., & CHAPARRO-GIRALDO, A. L. E. J. A. N. D. R. O. (2009). REGENERATION AND MANNOSE SENSIBILITY IN POTATO INTERNODAL EXPLANTS (*Solanum tuberosum* spp. andígena Var Diacol Capiro). *Acta Biológica Colombiana*, 14(1), 143-154. a supprimer la ref est doublé après avoir fini dementionner tout les ref dans le text
254. Yepsen RBJ (1984). *The Encyclopedia of natural insect & disease control*. Rodale Press, Emmaus
255. Yu, Q., Ye, W., Sun, F. et Miller, S. (2010). Characterization of *Globoderarostochiensis* (Tylenchida: Heteroderidae) associated with potato in Quebec, Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 32, 264-271.
256. Yu, T.H., Wu, C.M., & Chen, S.Y. (1989). Effects of pH adjustment and heat treatment on the stability and the formation of volatile compounds of garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37(3), 730-734.
257. Zhang Y., Chen P., Ye G., Lin H., Ren D., Guo L., Zhu B., Wang Z. 2018. Complete genome sequence of *Pseudomonas parafulva* PRS09-11288, a biocontrol strain produce the antibiotic phenazine-1-carboxylic acid. *Curr. Microbio.*:1-5
258. Zhou Y, Chen J, Zhu X, Wang Y, Liu X, Fan H et al. Efficacy of *Bacillus megaterium* strain Sneb207 against soybean cyst nematode (Heteroderaglycines) in soybean. *Pest Manag Sci.* 2021;77(1):568-76. <https://doi.org/10.1002/ps.6057>
259. Zhou Y, Wang Y, Zhu X, Liu R, Xiang P, Chen J et al. Management of the soybean cyst nematode *Heteroderaglycines* with combinations of different rhizobacterial strains on soybean. *Plos One.* 2017;12(8):1-14. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0182654>

# **Annexe**

### **Annexe 1:**

#### **Composition des milieux de culture :**

##### **Potato dextrose agar pour 1 Litre :**

- 200 g de Pomme de terre
- 15 g de Dextrose
- 20 g d'agar - agar
- 1 litre d'eau distillée.

##### **Gélose nutritive pour 1 Litre :**

- Extrait de viande : 1,0 g/L
- Extrait de levure :2,5 g/L
- Peptone :5,0 g/L
- Chlorure de sodium: 5,0 g/L
- Agar-agar: 15,0 g/L

##### **Gélose Cétrimide pour 1 Litre :**

- Peptone pancréatique de gélatine : 20,0 g
- Glycérol : 10 mL
- Cétrimide : 0,3 g
- Chlorure de magnésium : 1,4 g
- Sulfate de potassium : 10,0 g
- Agar agar : 13,6 g

##### **Composition du milieu Triple Sugar Iron (TSI) pour 1 Litre :**

- Extrait de viande : 3.0 g/L
- Peptone : 20.0 g/L
- Extrait de levure : 3.0 g/L
- Chlorure de sodium : 5.0 g/L
- Lactose : 10.0 g/L
- Sucrose : 10.0 g/L
- Glucose : 1.0 g/L
- Sodium thiosulfate : 0.3 g/L
- Fer ammonium citrate : 0.3 g/L
- Rouge de phénol : 0.024 g/L
- Agar : 13.0 g/L

## Annexe 2 :

Université de Mascara.  
Faculté des Sciences de la Vie et de la Nature. Département des  
Sciences Agronomiques.

### ETAT D'INFESTATION DES PARCELLES DE POMME DE TERRE

#### Localisation de la parcelle:

Wil.....localité.....

Nom de l'agriculteur/exploitant....

#### Caractéristiques de la parcelle:

Exploitée depuis.....ans Exploitée en maraichage depuis.....

-La Pomme de Terre en place:   variété:.....

-La culture précédente : Campagne 2014/2015:.....

Campagne 2015/2016.....

Système de Rotation appliqué: (Exp: PT(Nbre année/jachère/Maraichage-)/PT/autre solanacées/Céréales

...../...../.....

Jachère pratiquée : Travaillée

; Non travaillée

;Pâturée - Travail du sol : préciser tous les

travaux effectués :

.....  
.....

Charrue utilisée: Covercrop -

Adents: -

Autres(préciser): Fertilisation:

Engrais utilisé:.....Quantité utilisée.....

Moment d'emploi.....Mode d'emploi.....

Désherbage:

Méthodes

#### Connaissance sur le NKPT:

morphologie:.....Dégâts causés:.....Mode de dissémination:.....

Entretien et nettoyage de la machinerie et outils agricole:.....

## Annexe3:

Liste des variétés de pomme de terre. (Solanum tuberosum L.) autorisées à la production et à la

commercialisation. (CNCC, 2024).

1-Accent	40-Belmonda	79-Estima	118-Memphis	157-Sagitta
2-Adora	41-Bernadette	80-Everest	119-Mirakel	158-Samanta
3-Agila	42-Blondine	81-Evolution	120-Monalisa	159-Santana
4-Agria	43-Burren	82-Ewelina	121-Mondial	160-Sarpomira
5-Aida	44-Canberra	83-Fabula	122-Mozart	161-Satina
6-Ailsa	45-Cantate	84-Faluka	123-Naga	162-Saviola
7-Ajax	46-Cardinal	85-Famosa	124-Navan	163-Sebain
8-Ajiba	47-Carlita	86-Florice	125-Nicola	164-Sicura
9-Akira	48-Carmine	87-Folva	126-Novita	165-Senna
10-Alaska	49-Caruso	88-Frisia	127-O'sirene	166-Sifra
11-Alko	50-Ceasar	89-Granola	128-Obelix	167-Simplyred
12-Allegro	51-Chieftain	90-Hanna	129-Oceania	168-Slaney
13-Almera	52-Claret	91-Hermine	130-Oleva	169-Spunta
14-AmalEl	53-cleopatra	92-Idole	131-Oméga	170-Stemster
15-Ambo	54-Challenger	93-Ilona	132-Omnia	171-Superstar
16-Amorosa	55-Cimega	94-Isna	133-Orchestra	172-Sylvana
17-Anna	56-Concurrent	95-Jelly	134-Oscar	173-Symfonia
18-Apolline	57-Coralie	96-Kahina	135-Ostara	174-Synergy
19-Apollo	58-Cornado	97-Kastelli	136-Pamela	175-Terra
20-Aranka	59-Cosmos	98-Kennebec	137-Pamina	176-Tiamo
21-Argos	60-Daifla	99-Kingston	138-Pentland dell	177-Tihert
22-Ariane	61-Daisy	100-Kondor	139-Pentland square	178-Timate
23-Arinda	62-Delphine	101-Korrigane	140-Provento	179-Touareg
24-Arizona	63-Desiree	102-Kuroda	141-Quincy	180-Tulla
25-Armada	64-Destiny	103-Labadia	142-Raja	181-Triomphe
26-Arnova	65-Diamant	104-Labella	143-RedCara	182-Ultra
27-ASSIREM	66-Dido	105-Ladyolympia	144-Redlady	183-Universa
28-Asterix	67-Ditta	106-Ladyrosetta	145-RedPontiac	184-Voyager
29-Atica	68-Dounia	107-Latona	146-Remarka	185-Valor
30-Atlas	69-Dura	108-Laura	147-Resy	186-Vivaldi
31-Balanse	70-ElDjazair	109-Liseta	148-Rodeo	187-
32-Ballade	71-Elhogar	110-Loane	149-Ronaldo	188-Jaerla
33-Banba	72-Elkhadra	111-Lola	150-Rosara	189-
34-Baraka	73-Elmundo	112-Lusa	151-Royal	190-
35-Barcelona	74-ElOued	113-Mandeo	152-Rubis	191-Xantia
36-Barna	75-ElSahra	114-Manitou	153-Rudolph	192-Yona
37-Bartina	76-Elodie	115-Maradona	154-Rumba	193-Yesmina
38-Bellarosa	77-Elvira	116-Margarita	155-Sahel	194-Zafira
39-Bellini	78-Escort	117-Matador	156-Safrane	195-Zina red

**Annexe 4 :**  
**La tringle texturale**

