

ECOLE NATIONALE Supérieure AGRONOMIQUE – EL HARRACH - ALGER

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Département : Zoologie agricole et forestière

École Doctorale : Biologie et écologie en zoologie agro-forestière

***Contribution à l'étude de la bioécologie
des nématodes à kystes (Globodera sp.)
inféodés à la culture de la pomme de terre***

Présentée par Melle DJEBROUNE Aouicha

Directeur de thèse: M. MOKABLI Aissa Maître de conférences à l'Univ. K. M.

Soutenue le 07/11/ 2013

Devant le jury : Président : M. DOUMANDJI Salaheddine Professeur à l'E.N.S.A Examineurs : Mme. DOUMANDJI-MITICHE Bahia Professeur à l'E.N.S.A. M. HAMMACHE Miloud Maître de conférences à l'E.N.S.A. M. SMAHA Djamel Chef service à l'I.N.P.V. (Doctorant)

Table des matières

Remerciements . .	4
ص خ لم . .	6
Résumé . .	7
Abstract . .	8
La liste des abréviations . .	9
Introduction générale . .	10
Première partie : Synthèse bibliographique . .	12
Chapitre I Généralités sur la culture de la pomme de terre . .	12
I.1.- Importance économique . .	12
I.2.- Classification de la pomme de terre . .	18
I.3.- Aspect botanique de la pomme de terre . .	18
I.4.- Cycle de développement de la pomme de terre . .	19
I.5.- Importants problèmes phytosanitaires de la pomme de terre . .	20
Chapitre II Généralités sur les nématodes à kystes de la pomme de terre du genre <i>Globodera</i> . . .	22
II.1.- Généralités sur les nématodes . .	22
II.2.- Systématique des nématodes . .	23
II.3.- Organisation structurale des nématodes . .	23
II.4.- Les nématodes phytoparasites . .	24
II.5.- Les nématodes à kystes de la pomme de terre <i>Globodera</i> sp. . .	25
Deuxième partie : Analyse expérimentale . .	45
Chapitre I Présentation de la région d'étude. . .	45
I.1.- Situation géographique . .	45
I.2.- Caractéristiques pédologiques . .	45
I.3.- Réseau d'irrigation . .	46
I.4.- Climat . .	46
Chapitre II Etude de la sensibilité de trois variétés de pomme de terre par les <i>Globodera</i> en conditions naturelles. . .	48
II.1.- Objectifs . .	49
II.2.- Matériels et méthodes . .	49
II.3.- Résultats et discussion . .	61
Chapitre III Infestation et répartition des nématodes à kystes du genre <i>Globodera</i> dans quelques parcelles de pomme de terre (variété : Spunta) à Ain Defla. . .	114
III.1.- Objectifs de l'étude . .	114
III.2.- Matériels et méthodes . .	115
III.3.- Résultats et discussion . .	118
Conclusion générale . .	138
Références bibliographiques . .	141
Annexes . .	150

Remerciements

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

Ma profonde gratitude et mes vifs remerciements s'adressent d'abord à mon Directeur de thèse Monsieur A. MOKABLI, maître de conférences à l'Université de Khemis Miliana pour avoir accepté de diriger cette thèse, pour ses orientations dont j'ai bénéficié, ses conseils judicieux, sa compréhension et sa gentillesse. Il m'a réservé des moments précieux pour mener à bien ce travail.

J'exprime mon profond respect et mes vifs remerciements à Monsieur S. DOUMANDJI, professeur au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'ENSA pour avoir accepté de présider le jury, pour ses encouragements, son soutien et sa gentillesse. Il m'a facilité toutes les conditions pour réaliser ce travail.

Mes gratitude et mes remerciements à Madame B. DOUMANDJI-MITICHE, professeur au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'ENSA, pour avoir accepté d'évaluer ce travail, pour ses encouragements, son soutien et sa gentillesse.

Je remercie tout particulièrement Monsieur M. HAMMACHE, maître de conférence au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'ENSA d'avoir bien voulu examiner ce travail, pour ses conseils judicieux, son aide généreuse et sa gentillesse.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur D. SMAHA, Doctorant à l'INPV pour avoir bien voulu me faire l'honneur d'être examinateur de ma thèse, sa gentillesse et pour son accueil au laboratoire de nématologie à l'INPV lors de mon début de travail de recherche.

J'exprime également ma reconnaissance et mes remerciements à Monsieur G. CHAKALI, professeur au Département de Zoologie Agricole et forestière à l'ENSA, pour son aide généreuse, pour ses précieux conseils, pour sa gentillesse et ses encouragements tout en long de ce travail.

Ce travail a trouvé un soutien particulier des producteurs de pomme de terre de la région d'Ain Defla. Je remercie vivement tous les agriculteurs qui m'ont offert leur aide et pour avoir partagé avec moi pendant de nombreuses sorties à travers toutes les parcelles de cette culture dans la région d'Ain Defla. Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui travaillent dans la ferme pilote Si Brahim Benbrik, et sans oublier aussi l'ensemble du personnel du la D.S.A d'Ain-Defla, particulièrement Madame R. RHENIMA.

A ces remerciements, je tiens à associer tous les enseignants et ensemble du personnel du Département de Zoologie Agricole et forestière et de l'Université de Khemis Miliana pour leur soutien et leurs encouragements.

J'adresse également mon profond remerciement à l'ensemble du personnel du laboratoire de recherche de l'Université de Khemis-Miliana, particulièrement le Directeur Monsieur A. SAADOUN et Madame W. MEKHATI, ingénieur du laboratoire pour avoir mis à ma disposition tous les éléments nécessaires à la réalisation de travail expérimental, et sans oublier les deux étudiants AZIZE et NOUREDINE qui m'ont beaucoup aidée pour la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à tous mes amies et collègues de l'Ecole Doctorale en Biologie et Ecologie en Zoologie Agro-forestière.

Je voudrais exprimer chaleureusement mes sincères remerciements à mes amies : KAHINA, NACERA, NOURIA, MERIEM, KARIMA et NAWAL.

Une affectueuse pensée pour mes parents, pour mes frères et mes sœurs pour leur compréhension et soutien lors de mes nombreuses sorties au terrain. Pour leurs encouragements constants et pour leurs aides généreuses durant la période de recherche.

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

ص خ لم

مساهمة في دراسة البيوايكولوجيا الديدان الخيطية ذات الأكياس (*Globodera* sp.) المرتبطة بزراعة البطاطا

أظهرت دراسة لحساسية ثلاثة أصناف من البطاطا اتجاه الديدان الخيطية ذات الأكياس من جنس *Globodera* تحت الظروف الطبيعية أن الصنف *Désirée* هو المضاعف الأكثر للطفيلي من صنف *Spunta*. الصنف *Kondor* هو الأكثر الموصى به. هذه الديدان الخيطية تؤثر على وزن الدرنات، على الإنتاج النباتي وعلى المردود. ولكن تأثيرها على عدد الدرنات للنبات لا يكاد يذكر. وبالإضافة إلى ذلك، أظهرت الدراسة *morphobiométrique* لأكياس سلالات من *Globodera* المنتمية إلى الأصناف الثلاثة للبطاطا وجود تفاوت كبير على مستوى السلالة وبين السلالات. هذه الدراسة سمحت لنا بالتعرف على النوع *rostochiensis* *Globodera* و هو الأكثر انتشارا في العالم. وبالمثل، أظهر حساب عدد البيض في الكيس من سلالتين مختلفتين أن الأكياس المنتمية إلى صنف *Désirée* هي الأكثر عددا من صنف *Spunta*.

هذه الديدان تتواجد بكثرة في منطقة عين افقي. الإصابة بهذه الطفيليات تختلف حسب المنطقة. ويرجع ذلك أساسا إلى نظام الزراعة ونوع التربة. الكثافة المرتفعة للديدان الخيطية في التربة تسبب انخفاضا في غلة المحاصيل. وكانت هذه العلاقات العكسية مهمة و واضحة من خلال تحليل الانحدار الخطي.

كلمات البحث: *Globodera* sp. ، البطاطا، البيوايكولوجية.

Résumé

Etude de la sensibilité de trois variétés de pomme de terre par les nématodes à kystes du genre *Globodera* en conditions naturelles a révélé que la variété "Désirée" est la plus multiplicatrice de ce parasite que "Spunta". La variété "Kondor" est la plus conseillée. Ce nématode influe seulement sur le poids des tubercules, sur la production par plant et le rendement, mais son effet sur le nombre de tubercules par plant est négligeable. En outre, l'étude morphobiométrique des kystes de populations des *Globodera* appartenant à des parcelles de ces trois variétés a montré l'existence d'une large variabilité au sein d'une même population ainsi qu'entre les populations. Cette étude a permis d'identifier l'espèce *Globodera rostochiensis* qui est très répandue dans le monde. De même, le dénombrement des œufs par kyste de deux populations de *Globodera*, a montré que les kystes appartenant à la variété "Désirée" ont un nombre important que ceux de la variété "Spunta".

Ces nématodes sont largement distribués dans la région d'Ain Defla. L'infestation par ces parasites varie selon les régions. Cette variation est due principalement au système de culture et au type de sols différents. L'augmentation des densités de populations du nématode dans le sol engendrent une réduction du rendement des plantes. Ces relations inverses ont été très importantes et clairement démontrées par l'analyse de régression linéaire.

Mots clés : *Globodera* sp., pomme de terre, bioécologie.

Abstract

Contribution to the study of the bio-ecology of cyst nematodes (*Globodera* spp.) subservient to the cultivation of potatoes

Study of the sensitivity of three varieties of potato cyst nematodes in the genus *Globodera* under natural conditions showed that the variety "Desiree" is the multiplier of this parasite "Spunta". The variety "Kondor" is the most recommended. This nematode only affects the weight of tubers per plant production and performance, but its effect on the number of tubers per plant is negligible. In addition, the study morphobiométrique cysts of *Globodera* populations belonging to plots of the three varieties showed the existence of a wide variability within a population and between populations. This study identified the *Globodera rostochiensis* is very spread species in the world. Similarly, counting eggs per cyst two populations of *Globodera* showed that cysts belonging to the variety "Desiree" an important than the number "Spunta" variety.

These nematodes are widely distributed in the region of Ain Defla. The infestation by these parasites varies by region. This variation is mainly due to the culture system and type of different soils. Higher densities of nematode populations in the soil generate a reduction in yield of plants. These inverse relationships were very important and clearly demonstrated by linear regression analysis.

Key words : *Globodera* sp., potato, bioecology.

La liste des abréviations

- **ACP** : Analyse en Composante Principal.
- **ANOVA** : Analysis of Variance (Analyse de la Variance).
- **C.I.P.** : Centre International de la Pomme de terre.
- **C.N.C.C.** : Centre National de Contrôle et Certification des plants et des semences.
- **D.S.A.** : Direction des Services Agricoles.
- **FAO**: Food and Agriculture Organization.
- **I.T.C.M.I.** : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles.
- **K.P.** : kyste plein.
- **K.V.** : kyste vide.
- **MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- **OEPP** : Organisation Européenne et méditerranéenne pour la Protection des Plantes.
- **pH**: Potentiel d'ionisation.
- **µm** : Micromètre = 1×10^{-6} mètre.

Introduction générale

La pomme de terre *Solanum tuberosum* est originaire des Andes dans le sud-ouest de l'Amérique du Sud où son utilisation remonte à environ 9 000 ans avant J.C. (Spire et Rousselle, 1996). Cette spéculature est l'une des productions végétales la plus cultivée et consommée à travers le monde. Elle occupe le troisième rang après le riz (696 Mt) et le blé (653 Mt), avec une production mondiale d'environ 325 millions de tonnes en 2010 (FAOSTAT, 2012 in Rakotonindrina, 2012). La facilité avec laquelle elle peut être produite et l'existence des variétés adaptées à différents milieux et résistantes à de nombreuses contraintes permettent à la culture de pomme de terre de se développer dans un plusieurs pays.

En Algérie, la pomme de terre a été introduite la première fois au XVI^{ème} siècle par les Maures andalous (Meziane, 1991). À l'heure actuelle, elle est considérée parmi les principales grandes cultures. La surface réservée annuellement à la production de la pomme de terre est de 100 000 ha, soit 27 % de la superficie totale consacrée aux cultures maraîchères (Nouad, 2009), assurant une production proche de 4 millions de tonnes en 2012 (Anonyme, 2012a).

Cependant la production locale n'arrive pas quelquefois à satisfaire les besoins de la population algérienne. Le fait que le pays se trouve quelquefois obligé à importer de la pomme de terre de l'extérieur surtout en matière de semence, afin de combler ce gap dans la production de pomme de terre.

Un certain nombre de facteurs sont à l'origine de cette perturbation de la production comme les contraintes climatiques. S'ajoutent les maladies considérées comme contraintes majeures. Le mildiou *Phytophthora infestans* constitue de nos jours un facteur limitant le développement de cette culture. De même, les attaques parasitaires, particulièrement les insectes (vers blancs, la teigne, les pucerons) et les nématodes à kystes du genre *Globodera* sont le plus souvent signalées. Parmi ces derniers, deux espèces : *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* provoquent des attaques considérables sur la culture.

Ces nématodes phytophages sont des organismes de quarantaine. Ils persistent dans le sol à l'état de kystes après la récolte, ce qui leur permet de mieux résister et de se conserver dans le sol pour se développer de nouveau lors de la mise en place de la culture suivante.

Les travaux relatifs à ces parasites en Algérie sont encore à leur début. Ils se sont limités uniquement à quelques aspects relatifs à leur répartition dans quelques régions. Le laboratoire de l'INPV d'El Harrach et les différentes stations de cet institut à travers le territoire disposent de certains résultats sur l'état d'infestation des parcelles destinées à la multiplication des semences.

Compte tenu de l'importance économique considérable des dégâts provoqués par ce parasite et du manque d'informations sur celui-ci en Algérie et notamment dans la région d'Ain-Defla, nous avons jugé très utile d'entamer un travail de recherche qui consiste à étudier les nématodes à kyste *Globodera* dans les parcelles de pomme de terre appartenant à différentes communes de la wilaya d'Ain-Defla considérée comme étant une région potentielle pour la production de pomme de terre. Dans un premier volet nous présentons

une synthèse des données recueillies sur le parasite (les nématodes à kyste du genre *Globodera*) et la plante hôte (pomme de terre). Le second porte sur la présentation de la région d'étude. La troisième partie vise à étudier la sensibilité des trois variétés de pomme de terre vis-à-vis des *Globodera* en conditions naturelles. Enfin, la dernière partie est consacrée à l'étude de l'infestation et la répartition de ces nématodes dans quelques parcelles de pomme de terre. Avant de conclure cette étude, nous essayerons de proposer quelques méthodes de lutte efficaces contre ces parasites de la culture de pomme de terre.

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I Généralités sur la culture de la pomme de terre

I.1.- Importance économique

I.1.1.- Dans le monde

La pomme de terre est cultivée dans le monde depuis longtemps ; sa présence dans les pays andins et plus particulièrement près du Littoral du Pérou, d'où elle est originaire, date d'environ 9000 ans avant J.C. (Spire et Rousselle, 1996). Son introduction en Europe est probablement en quelques années avant la fin du XVI^{ème} siècle et ceci par deux entrées; la première l'Espagne vers 1570 et la seconde les îles Britanniques (1588-1593) (Rousselle *et al.*, 1996).²

La pomme de terre présente en effet l'avantage de produire plus de nourriture nutritive que toute autre grande culture et que 85% de la plante est comestible pour l'homme, contre environ 50% pour les céréales (Oswaldo, 2010).

La pomme de terre c'est une source importante de l'amidon. Les tubercules offraient une source de nourriture idéale. Elles étaient faciles à récolter, à conserver et à transporter. Pour ces raisons, cette spéculatation est l'une des productions végétales la plus cultivée et consommée à travers le monde, par conséquent elle constitue une grande production agricole.

La culture de la pomme de terre est l'une des principales cultures alimentaires mondiales occupant le troisième rang après le riz avec 696 Mt et le blé avec 653 Mt, avec une production mondiale d'environ 325 millions de tonnes en 2010 (FAOSTAT, 2012 in Rakotonindrainina, 2012) (Fig. 1). Il faut mentionner que la production, en tonnage de la canne à sucre et du maïs, est plus importante avec 1711 Mt et 840 Mt récoltées respectivement, mais une grande partie de ces récoltes est utilisée pour la transformation industrielle (biocarburants) ou l'alimentation animale.

La pomme de terre peut être cultivée dans toutes les régions du monde. La surface cultivée en pomme de terre est estimée à près de 19 millions d'hectares en 2010 (FAOSTAT, 2012 in Rakotonindrainina, 2012) (Fig. 1). Jusqu'au début des années 90, la production et la consommation de pomme de terre étaient surtout attribuées à l'Europe (y compris les pays de l'ex-Union soviétique) et à l'Amérique du Nord. Depuis lors, le secteur de la pomme de terre a bien évolué car on a pu constater une forte émergence de la production et de la demande de pomme de terre venant d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine. La production de ces pays en développement est passée de moins de 30 millions de tonnes au début des années 60 à plus de 188 millions de tonnes en 2010. L'Asie et l'Europe sont devenues les principales régions productrices de pomme de terre fournissant un peu plus de 80% de

la production mondiale (exprimées en tonnes) en 2010. La progression vient notamment des nouveaux pays émergents tels que la Chine et l'Inde où quasiment un tiers de tous les tubercules sont désormais récoltés. La Chine est devenue le premier producteur mondial de pomme de terre. L'Asie consomme près de la moitié de la production mondiale de pomme de terre (FAOSTAT, 2012 in Rakotonindrainina, 2012).

La production mondiale de pomme de terre qui était en augmentation sensible mais constante depuis les années 80, s'est stabilisée depuis le début des années 2000. Si l'on corrèle cela à la forte baisse de la surface mondiale de cultures de pomme de terre de ces 10 dernières années, on peut en conclure que les cultures se sont renforcées sur le plan technique et que, par conséquent, les rendements ont nettement augmenté. Cependant, entre 2009 et 2010, on note une quasi-stabilité des surfaces cultivées (+ 0,25 %) et, dans le même temps, un recul du niveau de production (- 2,3 %) (Fig. 1) (Anonyme, 2012b).

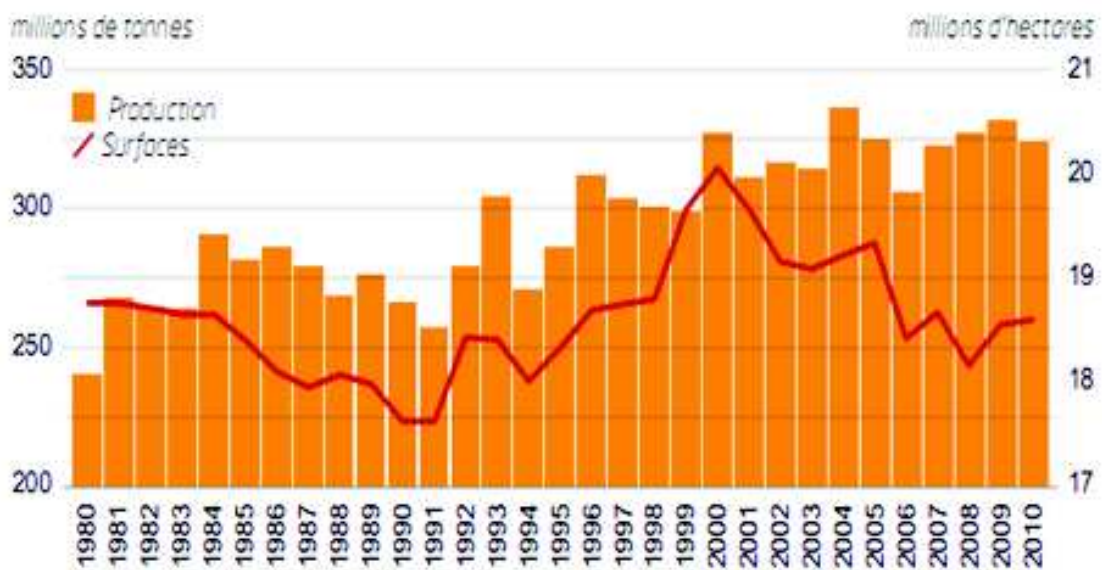


Fig. 1 - Productions et les superficies mondiales de pomme de terre de 1980 à 2010
(Anonyme, 2012b).

En 2010, 9 pays ont eu une production dépassant les 7 millions de tonnes. Les cinq premiers producteurs dans l'ordre : Chine, Inde, Russie, Ukraine, Etats-Unis, représentent la moitié de la production mondiale. Par rapport à 2009, seules la Chine, l'Inde, la Biélorusse et le Bangladesh ont connu une bonne dynamique de leur production (Fig. 2) (Anonyme, 2012b).



Fig. 2 -Production de pomme de terre par pays en 2009 et 2010

(Anonyme, 2012b).

I.1.2.- En Algérie

En Algérie, la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. a probablement, été introduite une première fois au XVI^{ème} siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région : tomate, poivron, maïs, tabac ... puis elle est tombée dans l'oubli n'ayant pas suscité d'intérêt. Dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, les colons vont la cultiver pour leur usage, car les algériens y sont réticents malgré les disettes successives. C'est la dernière grande famine des années 30/40 qui viendra à bout de cette opposition (Meziane, 1991). En 1962, lorsque le pays acquit son indépendance, il produisait 250 000 tonnes par an et en exportait environ le tiers. Depuis, la pomme de terre est devenue une des principales cultures destinées à la consommation domestique.

La pomme de terre est surtout cultivée sur la côte méditerranéenne, qui jouit d'un climat tempéré propice à sa culture tout au long de l'année. On en trouve aussi à 500 mètres d'altitude, sur les montagnes et les vallées entre la côte et les monts Atlas ainsi que sur les hauts plateaux. Mais elle peut être plantée et récoltée dans n'importe quelle région, en fonction des saisons (Anonyme, 2008). En Algérie plusieurs variétés sont cultivées dont les plus dominantes sont Spunta 35 % et Désirée 30 % (I.T.C.M.I., 2005).

En Algérie 100 000 ha sont réservés annuellement à la production de la pomme de terre, soit 27 % de la superficie totale consacrée aux cultures maraîchères (Nouad, 2009). En matière de production et taux d'exportation de la pomme de terre, l'Algérie est classée quatrième après le Maroc, la Tunisie et l'Égypte (Ameziane, 2009).

De part la superficie qu'elle occupe et le volume de production qu'elle donne la pomme de terre est l'une des principales cultures en Algérie. Elle est considérée comme un légume alimentaire de base. En effet, elle tient la deuxième place après les céréales (Amirouche, 2009).

Selon le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, que les récoltes de pomme de terre sont très bonnes en 2012. Nous allons approcher les 4 millions de tonnes (Anonyme, 2012a). La production qui a atteint 3,8 millions de tonnes en 2011 contre 3,2 MT en 2010 et 2,6 MT en 2009 est encouragée, notamment par la mise en place en 2008 du Système de Régulation des Produits Agricoles de Large Consommation (SYRPALC) consistant à éponger les surplus de production en vue de réguler le marché. Ainsi que, une

nette augmentation de la production de la semence de pomme de terre, mais loin d'avoir la qualité souhaitée (Anonyme, 2012a).

La filière prend de plus en plus d'importance dans l'économie agricole, s'appuyant sur plusieurs indices comme la production et la consommation par habitant qui a presque doublé par rapport à 2008. Cette dernière est passée de 58 kilogrammes /habitant/an en 2008 à 70 kg en 2009, à 87 kg en 2010 et 100 kg en 2011. La valeur de la filière a atteint également une moyenne de 145 milliards DA/an ces dernières années, ainsi que l'émergence de professionnels spécialisés dans la filière pomme de terre, alors que les rendements atteignent plus de 400 quintaux/ha (Anonyme, 2012a).

L'évolution de la culture de la pomme de terre en Algérie de 2000 à 2009 est représentée dans les figures 3 et 4.

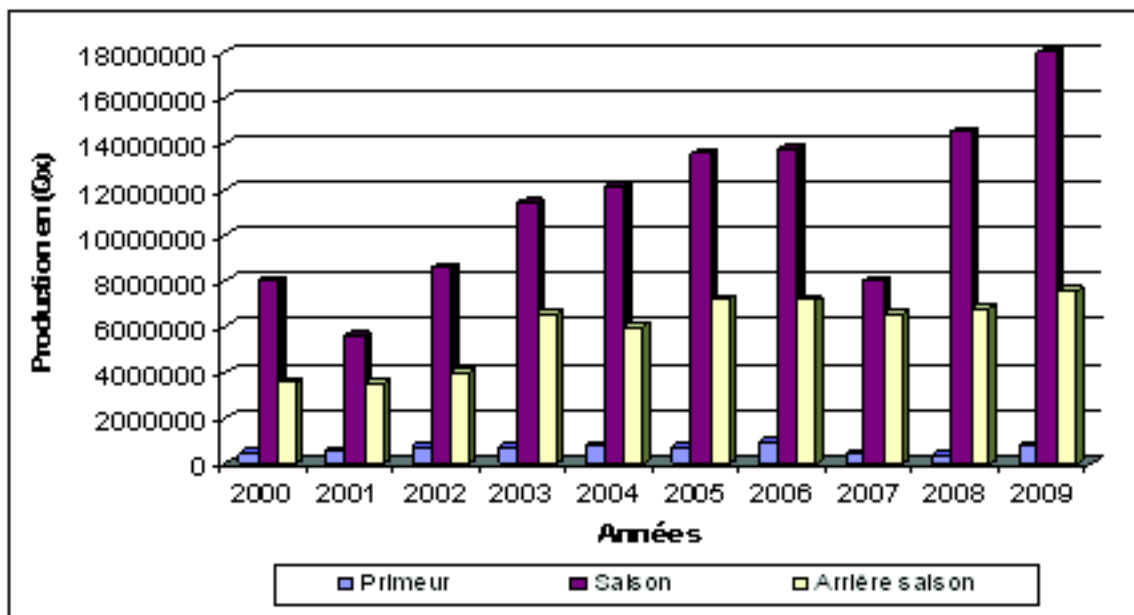


Fig. 3 - Evolution de la production de pomme de terre en Algérie

(Etabli à partir des données de MADR Alger).

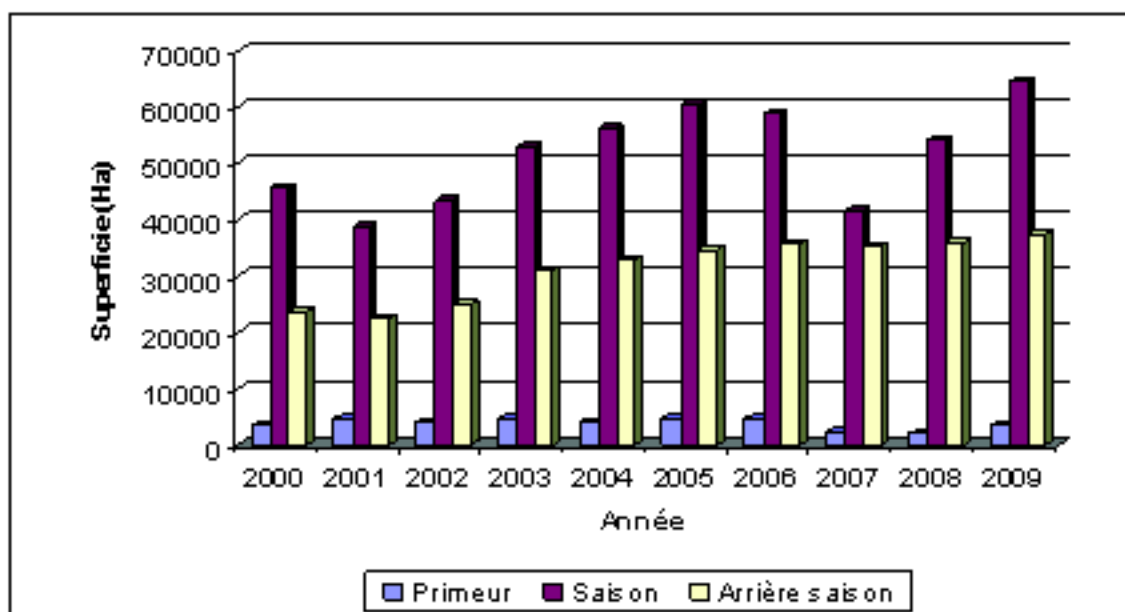


Fig. 4 - Evolution de la superficie de pomme de terre en Algérie

(Etabli à partir des données de MADR Alger).

1.1.3.- Dans la wilaya d'Ain Defla

La wilaya d'Ain Defla est classée comme zone potentielle de la production de pomme terre par excellence. Il y a à peine vingt ans, la pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla a connu une évolution remarquable à tous les niveaux de la filière. Les superficies sont passées de moins de 3 000 hectares à plus de 15 000 hectares, les rendements d'une moyenne de 10 tonnes/ha à près de 30 tonnes /ha et la production de 30 000 tonnes à plus de 350 000 tonnes. Certains facteurs ont particulièrement concourus à l'essor de la pomme de terre dans la wilaya :

- Elle dispose de ressources hydriques importantes et une superficie irrigable estimée à 38 000 hectares.
- Les plaines du haut Cheliff et d'El Amra-El Abadia comptent parmi les terres les plus fertiles du pays.
- Les différentes réformes et programmes de développement mis en œuvre comme la réorganisation de DSA qui a libéré les initiatives, les programmes du FNDA/FNRPA qui ont permis la mobilisation de ressources hydriques et l'équipement d'importantes surfaces (16000 ha) ainsi la réalisation d'infrastructures de stockage sous froid (63 000 m³). Tout cela a contribué à l'émergence de producteurs professionnels, organisés (près de 500) et techniquement appuyés par les cadres des différentes institutions, principalement l'ITCMI (Anonyme, 2008).

La pomme de terre occupe une place marquante sur le double plan de la valeur de la production (7 000 000 000 DA) et l'offre de main d'œuvre (près de 2 000 000 de journées de travail). A l'échelle du pays, Ain Defla occupe la première place en terme de superficie et assure en moyenne 25 % de la consommation et parfois jusqu'à 40 % des semences. Elle participe aussi à grandir un niveau de consommation estimé à 50 kg/habitant/an. Ce niveau est jugé appréciable comparativement aux pays d'Asie (25,83 kg), d'Amérique latine (23,65 kg) et les autres pays d'Afrique (14,18 kg) (Anonyme, 2008).

Enfin, la wilaya s'est engagée par un contrat programmé à développer sa production pour éteindre un objectif annuel de 480.000 tonnes à l'horizon 2013. Pour cela, les acteurs de la filière mettent actuellement en place des dispositifs visant notamment la production de semences, surtout de saison, la diversification variétale, l'utilisation de semence certifiées, la veille phytosanitaire, l'organisation de la profession et l'initiation à l'investissement dans les domaines de stockage et de la transformation (Anonyme, 2008).

Les principales variétés cultivées dans la wilaya d'Ain-Defla sont : Spunta, Désirée, Kondor, Atlas et Nicola (DSA d'Ain Defla, 2013) et la production varie suivant les années. D'après les figures 5 et 6, nous remarquons une croissance continue de la superficie et de la production au cours de ces dernières années (2001-2012). En effet, la campagne 2011-2012 est caractérisée par une superficie de pomme de terre qui dépasse les 18 385 ha avec une production d'environ 505 682 tonnes (DSA d'Ain Defla, 2013). On peut expliquer ça par l'amélioration des techniques culturales (irrigation, fertilisation et la protection phytosanitaire). La production est diminuée sensiblement au cours de la campagne 2005/2006 à cause de l'infestation de la culture par la maladie fongique « Le mildiou ».

L'évolution de la culture de pomme de terre dans la wilaya d'Ain Defla de 2001 à 2011 est représentée dans les figures 5 et 6.

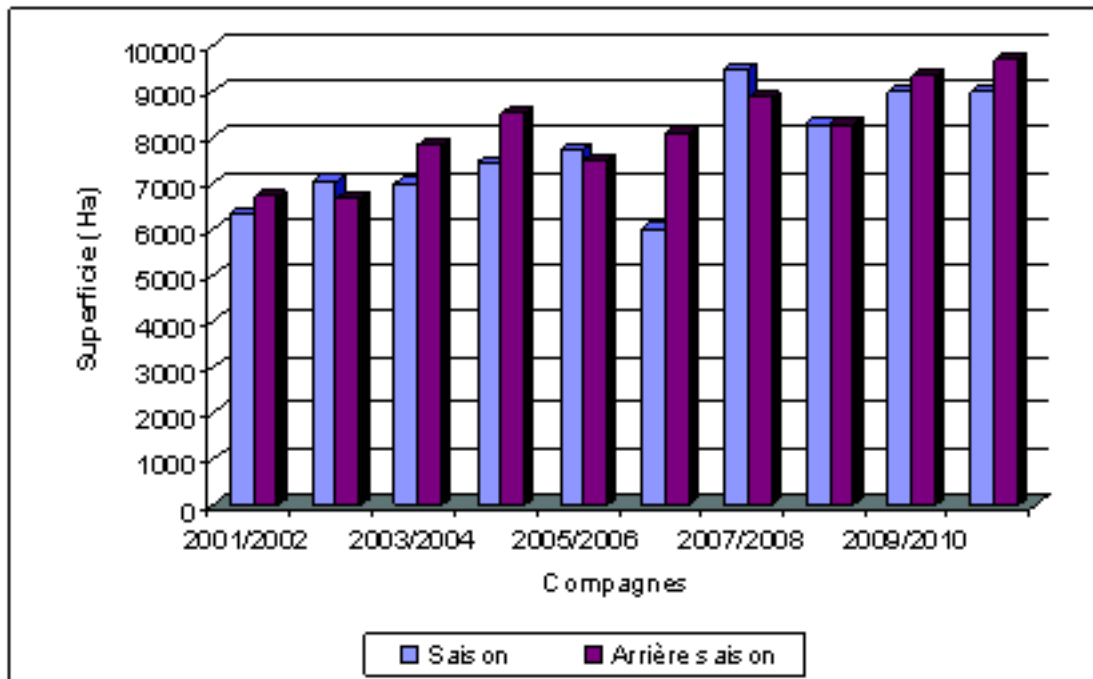


Fig. 5 - Evolution de la superficie de pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla (DSA d'Ain Defla, 2012).

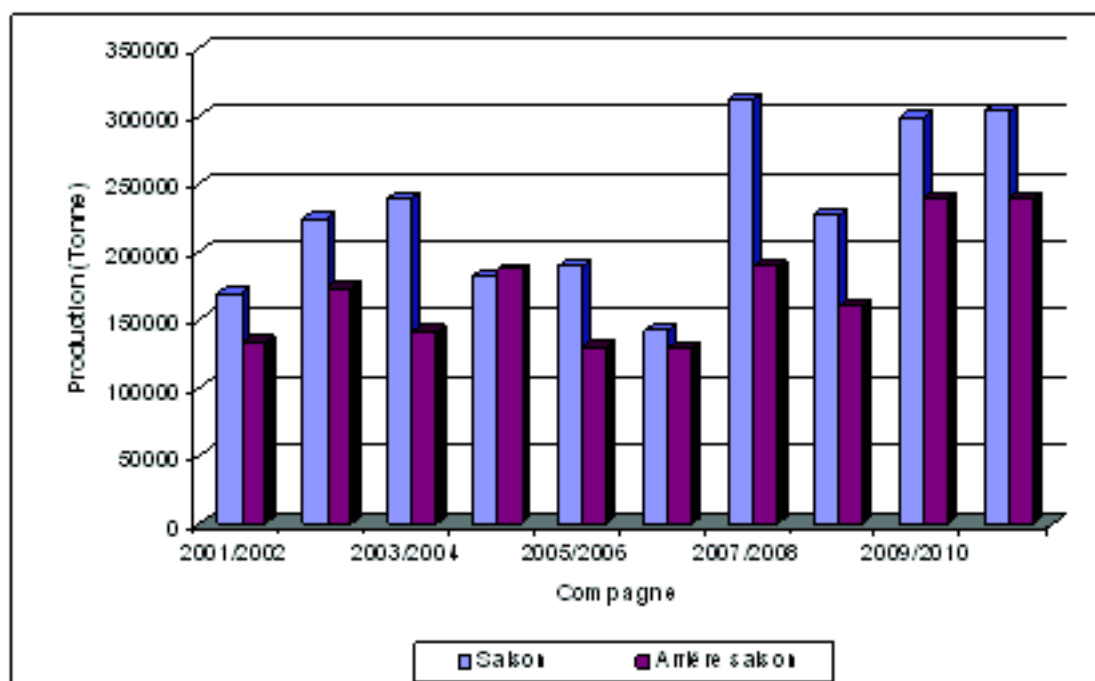


Fig. 6 - Evolution de la production de pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla (DSA d'Ain Defla, 2012).

I.2.- Classification de la pomme de terre

Selon Cronquist (1988), la pomme de terre appartient au :

Règne : Plantae.

Sous-règne : Tracheobionta.

Division : Magnoliophyta.

Classe : Magnoliopsida.

Sous-classe : Asteridae.

Ordre : Solanales.

Famille : Solanaceae.

Sous-famille : Solanoideae.

Genre : *Solanum*.

Especie : *Solanum tuberosum*.

I.3.- Aspect botanique de la pomme de terre

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), c'est une plante herbacée vivace par ces tubercules mais cultivée en culture annuelle (Rousselle *et al.*, 1996). C'est une plante aussi à système racinaire fin et fasciculé qui peut pénétrer profondément dans le sol s'il est suffisamment meuble (Soltner, 2005) et porte aussi des tubercules ; c'est l'organe le plus intéressant de la plante, qui confère à la pomme de terre sa valeur alimentaire (LÊ *et al.*, 2002). La pomme de terre prend l'aspect d'une touffe qui comprend un nombre plus ou

moins élevé de tiges principales, avec un port plus ou moins dressé (Rousselle *et al.*, 1996), sur laquelle on trouve les feuilles pointues, les fleurs dont la couleur varie du blanc au violet, les fruits sont des baies de la taille d'une cerise et comporte de nombreuses graines essentiellement utilisées pour les programmes de sélection variétale.

Les fleurs sont autogames, souvent stériles, car la stérilité mâle touche 70% des cultivars. Il s'agit d'avortement partiel ou total des étamines ou de stérilité du pollen par les hautes températures. Mais il y a des variétés qui ne fleurissent pas (Rousselle *et al.*, 1996) L'absence de nectar chez les fleurs rend la fécondation croisée presque inexistante dans la nature (Darpoux et Debelly, 1967).

I.4.- Cycle de développement de la pomme de terre

La pomme de terre peut se reproduire par graines et aussi par les tubercules. Mais la multiplication de la plante est toujours végétative (Darpoux et Debelley, 1967). Son cycle de développement est rapide (90 à 120 jours). Il peut être divisé en plusieurs stades conditionnés par des facteurs génétiques et environnementaux (Rousselle *et al.*, 1996) et qui résume comme suit :

- Un tubercule germé et planté en terre, ses germes se transforment en tiges feuillées ce phénomène assure la nutrition et le fonctionnement physiologique de la plante dont les bourgeons axillaires donnent au dessus du sol des rameaux et au dessous des stolons : C'est la phase de croissance.
- Au bout d'un certain temps, variable selon la variété et le milieu de culture les extrémités des stolons cessent de croître et se renflent pour former en une ou deux semaines les ébauches des tubercules : C'est la tubérisation.
- La tubérisation se prolonge jusqu'à la mort de la plante, soit naturelle, soit dans les conditions optimales de température et d'humidité : C'est le repos végétatif.
- Enfin, après une évolution physiologique interne les tubercules deviennent capables d'émettre des bourgeons, plus couramment appelés germes : C'est la germination (Fig. 7) (Soltner, 2005).

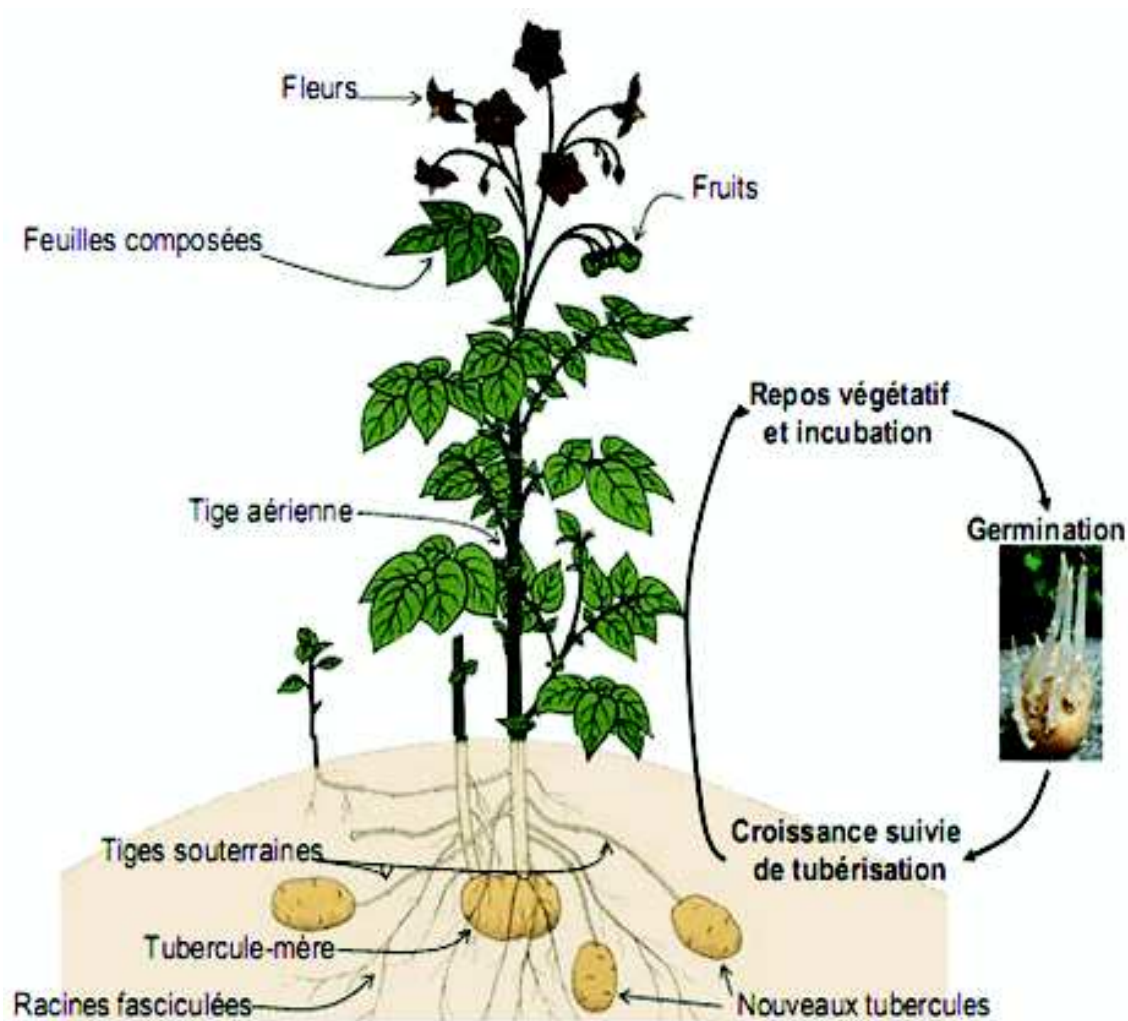


Fig. 7 - Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre et cycle végétatif (Soltner, 1999).

I.5.- Importants problèmes phytosanitaires de la pomme de terre

La pomme de terre est soumise à l'attaque d'un grand nombre de maladies et de ravageurs qui peuvent occasionner des pertes importantes. En effet, au niveau mondial, les maladies causent 32% de pertes et les ravageurs 10% (Rousselle *et al.*, 1996). Donc, la protection phytosanitaire permet de réduire au maximum les pertes de production.

I.5.1.- Les maladies fongiques

Le mildiou : Maladie la plus grave en culture de pomme de terre. Causée par le champignon *Phytophthora infestans*, L'attaque apparaît souvent sur des plantes dispersées dans la culture, sur les feuilles puis parfois sur les tiges. Les symptômes sont caractéristiques : taches d'aspect huileux puis brunes arrondies visibles à la face supérieure des feuilles, et finissant par se dessécher. En conditions humides, ces taches croissent et laisse apparaître, sur la face inférieure des feuilles, un feutrage blanc en périphérie des lésions. Ce feutrage

correspond à la sporulation. Le mildiou s'attaque aussi aux tubercules : il provoque des taches brunes sur l'épiderme et à l'intérieur des tubercules (Lambion, 2006).

I.5.2.- Les maladies bactériennes

La gale commune : Les agents pathogènes responsables de la gale commune sont des bactéries appartenant au genre des *Streptomyces*. Il s'agit de bactéries saprophytes, se nourrissant de matière organique en décomposition. Ces bactéries peuvent survivre pendant 10 ans dans le sol. On observe deux formes de gale commune ayant des caractéristiques très différentes : il s'agit de la gale en pustules (ou gales en relief) et de la gale en liège (ou gale plate, rugueuse ou réticulée) (Bellerive, 2010).

Les altérations provoquées par la gale en pustules peuvent être en dépression ou en relief, de taille et d'aspect variables, tant en surface qu'en profondeur. Les lésions provoquées affectent plus ou moins profondément la chair des tubercules.

L'épaississement de l'épiderme causé par la gale en liège forme en surface des réseaux plus au moins réguliers, touchant une fraction ou la totalité de la surface du tubercule. Ce type de symptôme n'endommage pas le tubercule en profondeur mais il altère sa présentation.

I.5.3.- Les viroses

La pomme de terre est sujette à de nombreux virus (le virus de l'enroulement, les virus Y, A, S, X et M) dont la transmission est assurée principalement par des pucerons (Nyabyenda, 2005). Les plus importants dégâts observés sont localisés au niveau des feuilles (tâches nécrotiques, de mosaïques, enroulement ou de dépigmentations foliaires). Certains virus induisent également des nécroses tuberculaires qui déprécient leur valeur marchande et rendent les tubercules non commercialisables (Polèse, 2006).

I.5.4.- Les ravageurs

Parmi les ravageurs de la pomme de terre, le doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*) se traduit par une consommation partielle ou totale du feuillage qui peut conduire à des pertes majeures de pouvant atteindre 40% de la récolte (Perlak *et al.*, 1993). Les tiges et feuilles sont également la cible des nombreux autres ravageurs, parmi lesquels on peut citer les altises, les cicadelles, les punaises ou encore les larves mineuses de diptères. Les larves de noctuelles (*Agrotis segetum*) et de nombreuses teignes telles que *Phthorimaea operculella*, *Scrobipalpula absoluta*, *Scobipalopsis solanivora* ou *Tecia solanivora*, minent les diverses parties de la plante notamment les tubercules. Les larves de taupins (coléoptères du genre *Agriotes*) s'attaquent aux tubercules, se nourrissent de la chair en creusant des galeries. Les larves de Hanneton commun (*Melolontha melolontha*) causent également des dommages aux tubercules. Les pucerons *Myzus persicae* et *Macrosiphum euphorbiae* établissent précocement leurs colonies sur les feuilles supérieures. Plus tard, trois autres espèces (*Aphis gossypii*, *Aphis nasturtii* et *Aulacorthum solani*) colonisent les plants et s'établissent sur les feuilles inférieures et médianes. Les aphides véhiculent de nombreux virus et sont susceptibles de causer des pertes considérables sur cette culture (Duvauchelle et Dubois, 1997).

Les nématodes *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* classés organismes de quarantaine, parasitent les racines et affectent la croissance des plantes et la taille des tubercules. Les nématodes des genres *Trichodorus* et *Paratrichodorus* peuvent également transmettre des virus, notamment le virus du Rattle alors que ceux du genre

Meloidogyne induisent la formation de galles sur les racines et tubercules (Mugniéry *et al.*, 1996)

Chapitre II Généralités sur les nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera*.

II.1.- Généralités sur les nématodes

Les nématodes sont des organismes vermiformes cylindriques non segmentés occupant des niches écologiques très diverses sur la planète. S'ils comprennent différentes formes, libres ou parasites d'animaux ou de végétaux (Coyne, 2010). Les nématodes sont tous des animaux aquatiques. Ils exploitent différents milieux tels que les océans et les mers, les eaux douces mais aussi les fluides corporels, les films d'eau dans le sol ou sur les végétaux. Ce sont les organismes les plus abondants de tous les métazoaires en terme de nombre d'individus dans de nombreux écosystèmes, notamment ceux du sol ($1,20 \cdot 10^{11}$ individus/m² contre 10^5 /m² pour les acariens qui constituent le deuxième groupe le plus abondant, Kevan, 1965 in Blanchard, 2006). Quatre sur tous les cinq métazoaires est un nématode, seuls 100 gramme de sol typiquement logeront 3000 individus (Gaugler et Bilgrami, 2004). Exceptée leur morphologie très homogène, les nématodes présentent une très grande diversité avec un nombre total d'espèces dans le phylum Nemata estimé entre 40000 et 10 millions (Blaxter, 1998). Ce grand nombre d'espèces (26000 décrites, Hugot *et al.*, 2001 (Fig. 8)) les place au deuxième rang dans le règne animal après les insectes. Les nématodes ont également des régimes alimentaires très diversifiés. Certaines espèces sont bactériophages, d'autres sont entomopathogènes, parasites d'animaux ou encore prédatrices. Enfin, parmi toutes les 32 espèces de nématodes décrites, seulement 15% sont des parasites de plantes (Hugot *et al.*, 2001), et causent des pertes considérables. Cependant, il est globalement reconnu que les nématodes phytoparasites réduisent la production agricole d'approximativement 11% (Agrios, 2005), soit une perte de récolte de plusieurs millions de tonnes chaque année. En effet, à l'échelle de la planète, les nématodes occasionnent plus de 100 milliards de dollars en perte de production annuellement et environ 7 milliards pour les États-Unis seulement (Bélair, 2005).

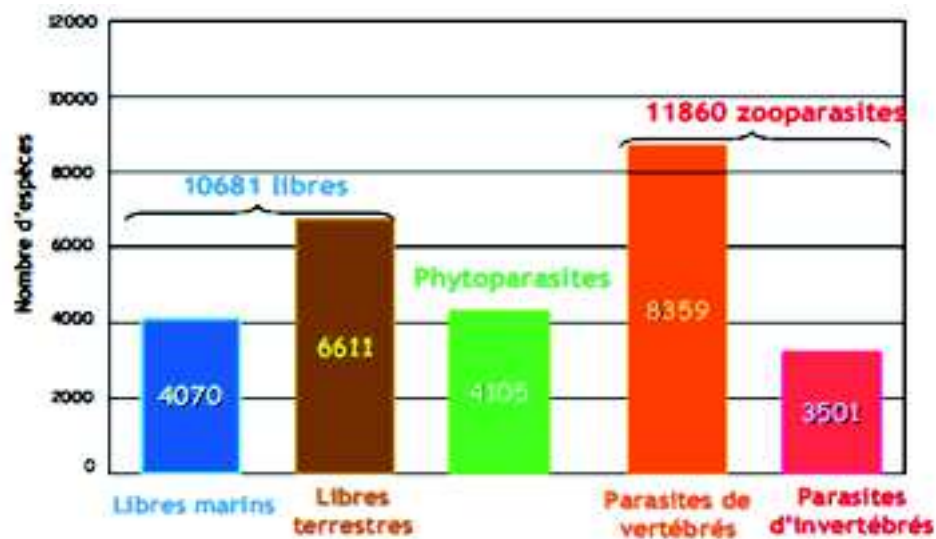


Fig. 8 - Mode de vie des espèces de nématodes
décrites par Hugot et al. (2001).

II.2.- Systématique des nématodes

Dans le règne animal, les nématodes sont regroupés sous le Phylum Nematoda ou Nemata faisant partie du Super phylum Ecdysozoa, du Grec ecdysis (mue) et zoo (animal). Ce dernier comprend les arthropodes (insectes, araignées et crustacées), les rotifères, les nématomorphes, les tartigrades et les nématodes. Ils possèdent tous une cuticule et doivent muer pour croître (Bélair, 2005).

Les nématodes ont été répartis par Blaxter, (1998) en cinq clades majeurs dans la phylogénie du phylum Nemata. Chacun de ces cinq clades contient des espèces ayant des modes de vie divers et comptent toutes des espèces parasites d'animaux ou de végétaux. Le parasitisme des végétaux serait apparu indépendamment au moins trois fois au cours de l'évolution dans différents ordres : les Dorylaimida, les Triplonchida, les Aphelenchida et les Tylenchida.

Les Tylenchida constituent l'ordre le plus important des nématodes phytoparasites à la fois en terme de nombre d'espèces, mais aussi en terme de dégâts causés aux plantes qu'ils parasitent. Cet ordre regroupe neuf familles de nématodes dont les Heteroderidae (Ferraz et Brown, 2002). Cette famille elle-même englobe une vingtaine de genres dont les nématodes à kyste du genre *Globodera*, sur lequel nous nous sommes focalisés, et les nématodes à galles du genre *Meloidogyne*. Les Heteroderidae sont responsables des dégâts les plus importants sur les plantes.

II.3.- Organisation structurale des nématodes

Les nématodes sont des organismes vermiformes à symétrie bilatérale recouverts d'une cuticule continue et souple mais très résistante. Ils sont ainsi contraints à croître de façon discontinue en passant par quatre mues larvaires avant d'atteindre la forme adulte. Même si leur taille est très variable, de 100 µm à 6 m (Blumenthal et Davis, 2004), l'immense majorité des espèces ne dépasse pas 1 à 2 mm. Ils possèdent une musculature longitudinale qui entoure le tube digestif rectiligne, se terminant par la bouche et l'anus aux extrémités, et

les glandes génitales (Fig. 9). Les nématodes n'ont ni système circulatoire, ni système respiratoire. Enfin, ces organismes possèdent un hypoderme produisant deux cordes longitudinales hébergeant les cordes nerveuses.

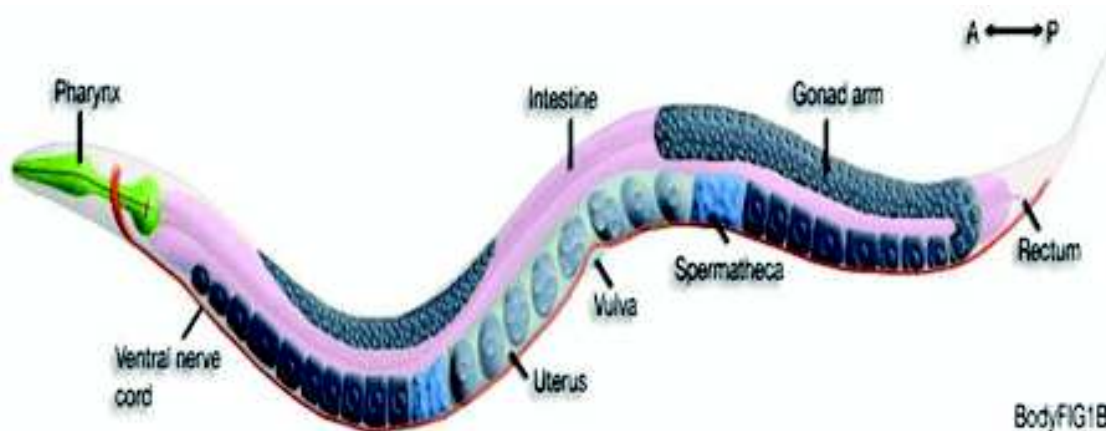


Fig. 9 - Structure d'un nématode (*Caenorhabditis elegans*)

(Altun et Hall, 2010).

II.4.- Les nématodes phytoparasites

Les nématodes phytoparasites sont le plus souvent invisibles à l'œil nu (0,2 à 3 mm de long) et parasitent les parties aériennes et souterraines des plantes, tel que la majorité des espèces dans 50 genres de nématodes parasites des plantes se nourrissent de tissus racinaires avec divers modes de parasitisme (Lilley *et al.*, 1999). Ils ne provoquent pour la plupart pas de symptômes visibles caractéristiques sur les parties aériennes des plantes, ce qui rend le diagnostic délicat (Blancard *et al.*, 2009). Les nématodes phytoparasites regroupent quatre ordres : les Aphelenchida ex : *Aphelenchoides* sp. (parasites des parties aériennes), les Dorylaimida ex : *Longidorus* sp. et les Triplonchida ex : *Trichodorus* sp. (parasites des racines), et enfin les Tylenchida qui parasitent les racines, les tubercules ou les rhizomes, ainsi que les parties aériennes pour certains genres. Bien qu'ayant divergé les uns des autres très précocement au cours de l'évolution du phylum Nemata (Blaxter, 1998), ces quatre ordres possèdent un caractère commun dérivé, le stylet, aiguille creuse (pour la plupart) située dans la partie antérieure. Cette structure leur permet de se nourrir des composés cellulaires de la plante hôte et est adaptée aux différentes stratégies parasitaires rencontrées dans les quatre ordres de nématodes phytoparasites de racine.

On distingue les ectoparasites, les ecto-endoparasites et les endoparasites migrants et sédentaires (Fig. 10). Les ectoparasites ont des stylets plutôt longs et fins leur permettant de piquer les cellules végétales profondes depuis l'extérieur de la racine. Les nématodes à kyste, qui sont des endoparasites ont au contraire un stylet plutôt court et robuste pour leur permettre de détruire mécaniquement les cellules végétales et pénétrer la racine (Sijmons *et al.*, 1994).

Les nématodes phytoparasites sédentaires comprennent principalement les nématodes à kyste (*Globodera* sp.) et les nématodes à galles (*Meloidogyne* sp.) dont les dégâts sont les plus conséquents sur les cultures.

Les nématodes à kystes de la pomme de terre, sont représentés par deux espèces : *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* qui sont des nématodes de quarantaine qui constituent des menaces importantes et réelles sur la culture de pomme de terre, notamment pour la production de semence (Bélair, 2005).

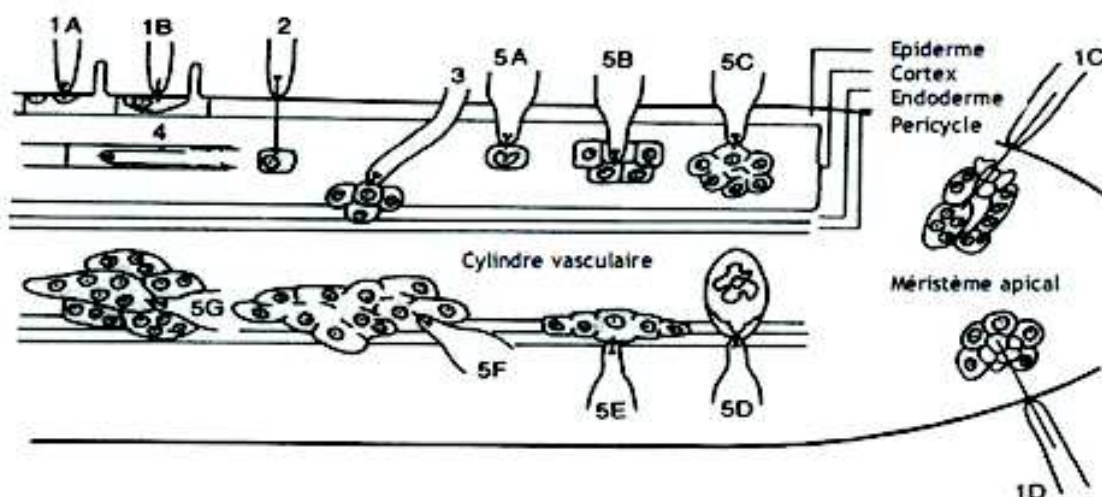


Fig. 10 - Représentation des modes de parasitisme des nématodes parasites de racines

(Sijmons et al., 1994).

Ectoparasites migrants : 1A: *Tylenchorhynchus dubius*, 1B: *Trichodorus* spp., 1C: *Xiphinema index*, 1D: *Longidorus elongatus*; **Ectoparasites sédentaires :** 2: *Crictonemella xenoplax*; **Ecto-endoparasites migrants :** 3: *Helicotylenchus* spp.; **Endoparasites migrants :** 4: *Pratylenchus* spp.; **Endoparasites sédentaires :** 5A: *Trophotylenchulus obscurus*, 5B: *Tylenchulus semipenetrans*, 5C: *Verutus volvingentis*, 5D: *Cryphodera utahensis*, 5E: *Rotylenchulus reniformis*, 5F: *Hétérodera* spp., 5G: *Meloidogyne* spp.

II.5.- Les nématodes à kystes de la pomme de terre *Globodera* sp.

II.5.1.- Historique

Les nématodes à kystes inféodés à la culture de pomme de terre ont été longtemps considérés comme seule espèce : *Heterodera rostochiensis* depuis sa description par Wollenber en 1923. Des études très précises ont conduit à distinguer deux nouvelles espèces différentes, par Stone 1972, qui sont : *Globodera rostochiensis* Wollenber et *Globodera pallida* Stone, classées dans un nouveau genre : *Globodera* appelé communément nématode doré de la pomme de terre. Avant cela, la plus part des documents technique et des données se réfèrent à *Heterodera rostochiensis* au sens large, qui comprend deux espèces, de sorte qu'il n'est pas possible de déterminer quelles espèces il est fait référence dans des publications antérieures.

Les observations qui ont été faites sur les nématodes dorés de la pomme de terre et les espèces apparentées montrent que les kystes ayant la forme globulaire, ce qui permis à Skarbilovich en 1959 a créer un sous-genre *Globodera* qui a ensuite été élevé en genre par Behrens en 1975 (CABI et OEPP, 1990).

II.5.2.- Origine

L'origine des nématodes à kyste de la pomme de terre est incertaine. Selon Stone (1975) ; Mai (1977) ; Evans et Stone (1977) et CABI et OEPP (1990), les *Globodera* sp. sont probablement originaires des Andes d'Amérique du Sud où ils ont évolué avec leur hôte principale, la pomme de terre. *Globodera rostochiensis* se localise de préférence au Sud du Lac Titicaca et *Globodera pallida* au Nord (Rousselle *et al.*, 1996). Mais selon Schneider et Mugniéry (1971), deux hypothèses sont également vraisemblables, si l'on tient compte du développement apparemment soudain du parasite et de la stabilité de l'espèce : soit introduite de l'Andes ou apparition subite en Europe, par mutation accidentelle d'une autre espèce d'*Hétérodera*.

Les deux espèces ont été introduites en Europe au milieu du 19^{ème} siècle probablement avec tubercules collectés après 1845 pour leur résistance supposée à *Phytophthora infestans*. De là, à la suite de la sélection des variétés modernes de leur multiplication et de leur exportation, elles ont été disséminées dans le monde entier (Rousselle *et al.*, 1996) par l'intermédiaire des distributions de plants européens, issus de parcelles contaminées.

Ces espèces ont été signalées pour la première fois en Allemagne à Rostock en 1880, en Angleterre en 1917, en Irlande du Nord et en Suède en 1922 et aux Etats-Unis en 1941 (Poignant, 1951 in Belhadj Ben Yahia, 2007). Après l'apparition de celles-ci en Irlande du Nord, au cours des années 1930 et au début des années 1940, les nématodes étaient détectés dans les jardins et les lotissements autour des villes. Les populations n'ont pu être analysées que dans certains champs, mais on a observé que 81% des populations se composaient seulement de *G. rostochiensis*, 8 % de *G. pallida* et 11% d'un mélange des deux espèces. L'âge des kystes retrouvés pendant les prospections varie, et il peut atteindre 25 ans (Turner, 1996).

II.5.3.- Classification de *Globodera* sp.

La classe des nématodes constitue l'un des groupes zoologiques les plus importants par le nombre d'espèces qu'elle contient et la diversité qu'on y rencontre (Ritter, 1986).

Selon Turner and Rowe (2006), les deux espèces *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* sont des Métazoaires appartenant à l'embryonnement des *Némathelminthes*, au phylum *Nematoda*, à la classe des *Secernentae*, à la sous classe des *Diplogasteria*, à l'ordre des *Tylenchida*, à sous ordre des *Tylenchina*, à la super-famille des *Tylenchoidea*, à la famille des *Heteroderidae*, à la sous famille des *Heteroderinae* et au genre *Globodera*. Cette dernière est représentée par plusieurs espèces, qui peuvent être différenciés par plusieurs critères, à savoir : les critères morphologiques des kystes, la taille et la forme des kystes, la structure pariétale du kyste (Fig. 11), la distance entre l'anus et la bordure des fenestres (Fig. 11), le nombre de rides entre l'anus et les fenestres vulvaires et la distance de l'anus et les fenestres vulvaire (Fig. 11), ainsi que les critères morphologiques du deuxième stade larvaire du nématode, la longueur du corps et du stylet, la forme des boutons basaux du stylet (Fig. 13), la forme et la longueur de la queue, la forme et la longueur de l'hyaline sur l'extrémité de la queue et le nombre de corps rétractifs dans la partie hyaline de la queue (Skantar *et al.*, 2007 et OEPP/EPPO, 2009).

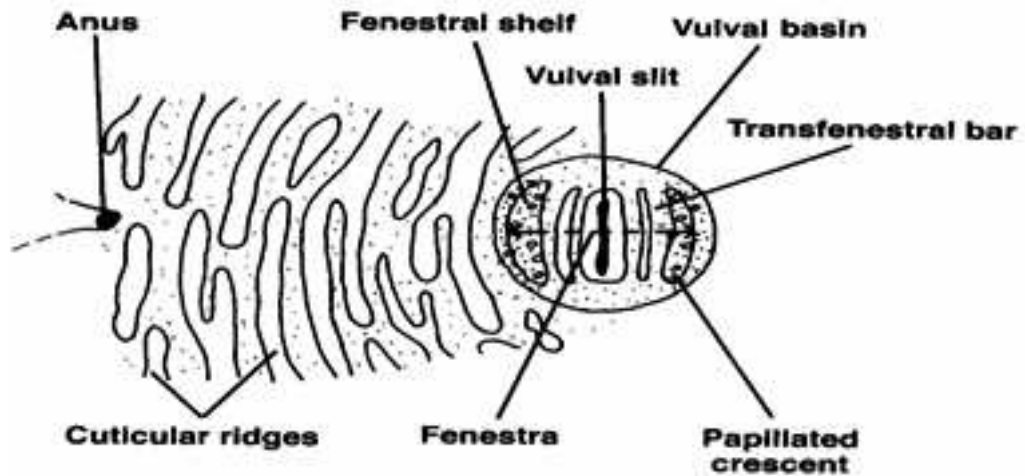


Fig. 11 - La région pariétale du kyste de nématode du genre *Globodera* (Fleming et Powers, 1998).

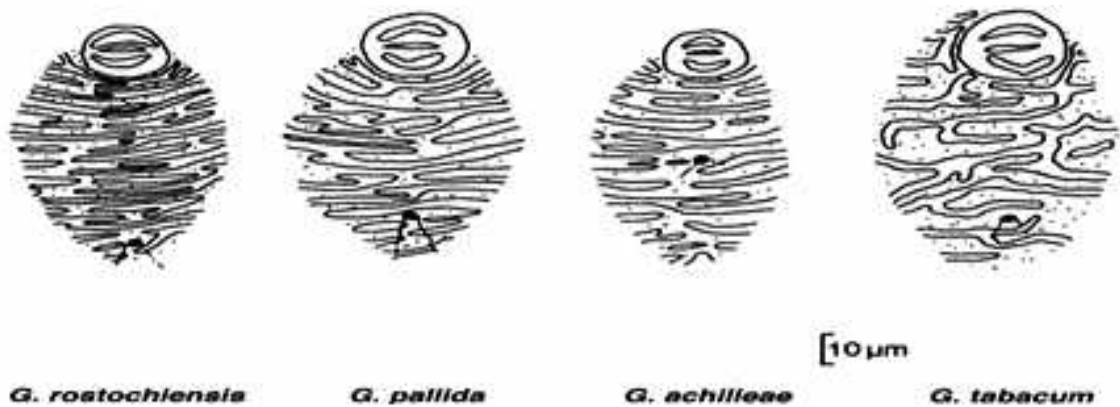


Fig. 12 - Les rides de la région pariétale des kystes de quatre espèces de *Globodera* (Fleming et Powers, 1998).

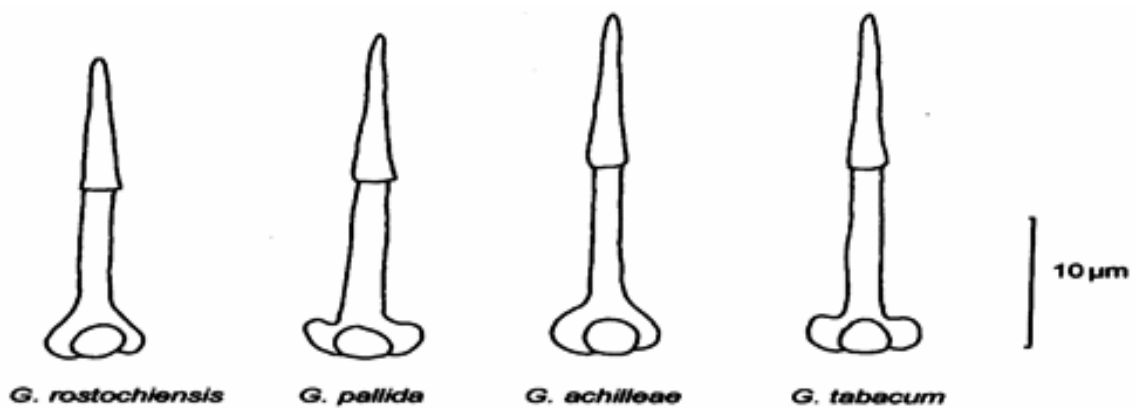


Fig. 13 - La forme du stylet des juvéniles de quatre espèces de *Globodera* (Fleming et Powers, 1998).

II.5.4.- Distribution de *Globodera* sp.

II.5.4.1.- Dans le monde

Après la découverte de nématode doré de la pomme de terre en Amérique du Sud et décrit comme *Heterodera rostochiensis* Wollenber (1923), cette espèce a été signalée dans la plupart des pays de l'Europe (Turner, 1996). La répartition actuelle de *Globodera* comprend les zones tempérées jusqu'au niveau de la mer et les zones tropicales à des altitudes supérieures. A l'intérieur de ces zones, la répartition est liée à celle de la culture de pomme de terre (CABI et OEPP, 1990). Selon l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (A.C.I.A.) en 2006, les nématodes à kystes de la pomme de terre sont présents dans tous les continents : l'Asie (Inde, Japon, Pakistan, Philippines et Sri Lanka), Amérique du Sud (Argentine, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Equateur, Pérou et Venezuela), Amérique du Nord (Canada, Etats-Unis), Europe (tous les pays sauf la Turquie), Moyen-Orient (Liban), Amérique centrale et Caraïbes (Costa Rica et Panama) et en Afrique (Algérie, Egypte, Libye, Maroc, Sierra Leone, l'Afrique du sud et Tunisie). Les deux espèces de *Globodera* diffèrent dans leurs exigences thermiques ce qui affecte leurs distributions géographiques dans le monde (Moxnes et Hausken, 2007).

La répartition de *Globodera* sp. dans le monde est représentée dans les figures 14 et 15.

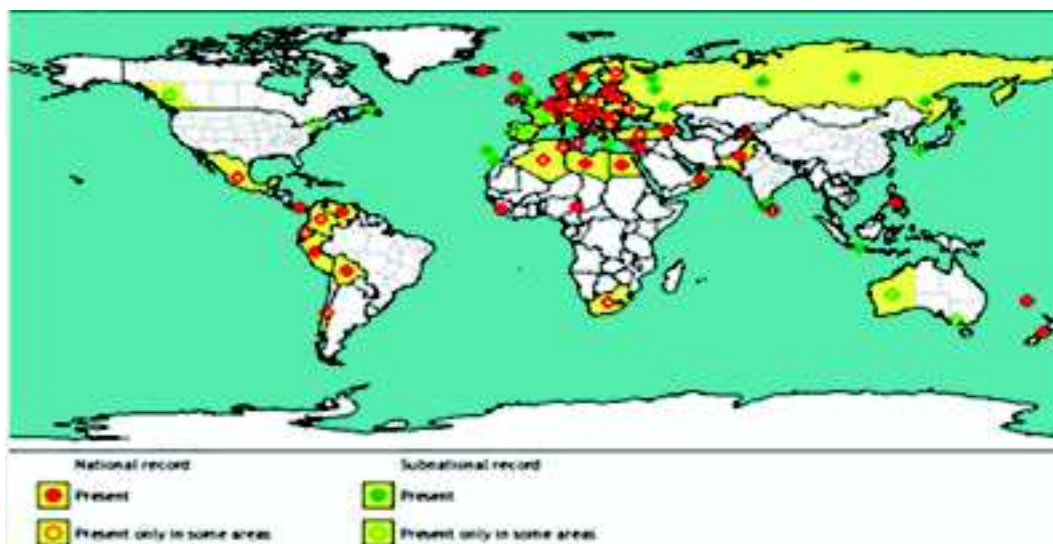


Fig. 14 - Répartition géographique du nématode *Globodera rostochiensis* dans le monde

(E.P.P.O. , 2006 in Anonyme, 2011).

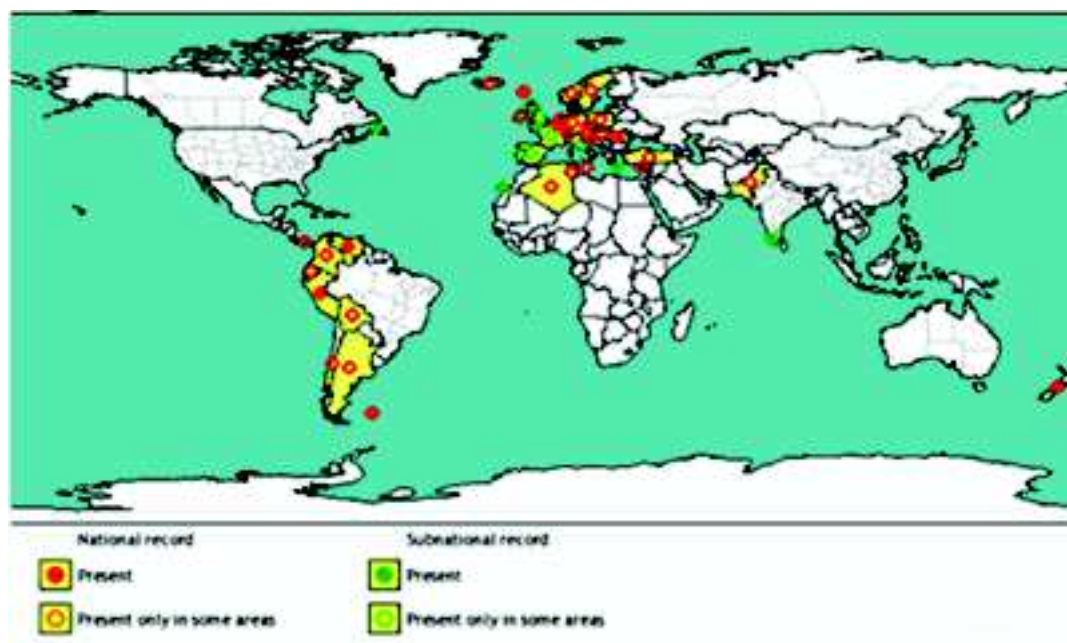


Fig. 15 - Répartition géographique du nématode *Globodera pallida* dans le monde
(E.P.P.O. , 2006 in Anonyme, 2011).

II.5.4.2.- En Algérie

Ce nématode a été découvert pour la première fois en 1953 suite à l'introduction de semences de pomme de terre d'origine britannique à la fin de la Deuxième Guerre Mondiale. Une année après, il a été signalé dans le littoral algérois. En 1961, les surfaces contaminées se sont étendues très rapidement touchant 33 communes aux environs d'Alger. Après, il a été disséminé dans plusieurs wilayas du pays dont les plus importantes sont Aïn Defla, Tipaza, Chlef, Mascara et Sétif (INPV, 2009).

Le nématode doré de la pomme de terre est considéré comme étant parmi les principaux parasites de la pomme de terre, il peut nuire considérablement au rendement de cette culture, c'est pour cela il a fait l'objet de plusieurs investigations de la part des nématologistes. Après la découverte de ce nématode en Algérie, plusieurs travaux ont été faits montrant leur présence dans différentes régions. En effet, il a été recensé à Chlef par Kacem en 1992 ; Belhadj Ben Yahia en 2007; Salam Attia en 2010; Mazouz en 2011 et Baloul en 2012. Il a été signalé également dans la région de Bouira par Merah (1998); Belhadj Ben Yahia (2007) et Baloul (2012). Dans la région d'Ain Defla caractérisée essentiellement par la production de la pomme de terre par excellence (Kacem, 1992; Merah, 1998; Belhadj Ben Yahia, 2007; Mokhtari, 2007 ; Bougar, 2010; Djebroune, 2011 et Baloul, 2012). Il existe également à Boumerdes (Kacem, 1992). Il a été également décelé à Tipaza (Belhadj Ben Yahia, 2007). Ce nématode a été signalé également récemment dans la région de Mila (Khenioui, 2011).

La répartition de *Globodera* sp. en Algérie est représentée dans la figure 16.

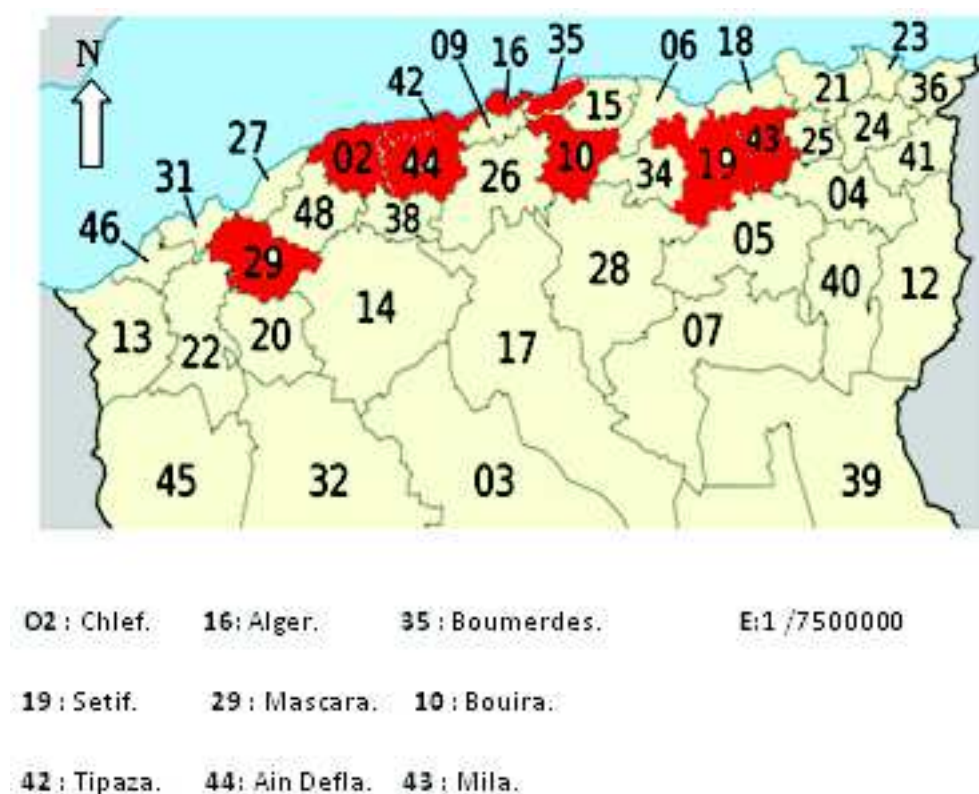


Fig. 16 - Répartition de *Globodera* sp. en Algérie
(D'après plusieurs auteurs).

II.5.5.- Importance économique de *Globodera* sp.

Les nématodes phytoparasites les plus dommageables au monde appartiennent au type endoparasite sédentaire. Parmi les principaux genres de ce groupe il existe les nématodes à kystes (*Globodera*). Les dommages dus à ces nématodes sont plus graves surtout dans le cas de *Globodera pallida*, car il y a un manque de cultivars de pomme de terre résistants à cette espèce (CABI et OEPP, 1990). Au Canada, les nématodes phytoparasites des racines occasionnent présentement et continueront d'infliger d'importantes pertes et dommages à plusieurs cultures. Parce que les nématodes ne sont pas visibles à l'œil nu et que les symptômes sur la partie aérienne des plantes peuvent être confondus avec plusieurs autres désordres du système racinaire, les nématodes sont le plus souvent oubliés par les producteurs et agronomes au moment de faire un diagnostic au champ (Bélair, 2005).

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

Les nématodes à kyste du genre *Globodera* sont des principaux ravageurs de la pomme de terre dans les régions tempérées ou froides (CABI et OEPP, 1990). Ils sont capables de causer de lourdes pertes aux rendements de la pomme de terre et déprécient la qualité des récoltes (A.C.I.A., 2006). Frezal (1954) cité par Hammouda (1991) a estimé que *Globodera* sp. a entraîné la diminution de la moitié des récoltes de la pomme de terre passant de

100-150 qx/ha à 60 qx/ha dans le littoral algérois. Aux Etats Unis d'Amérique, seulement les pertes sont estimées entre 4 et 5 millions de dollars par an, soit la deuxième de la valeur des récoltes (Brown, 1969).

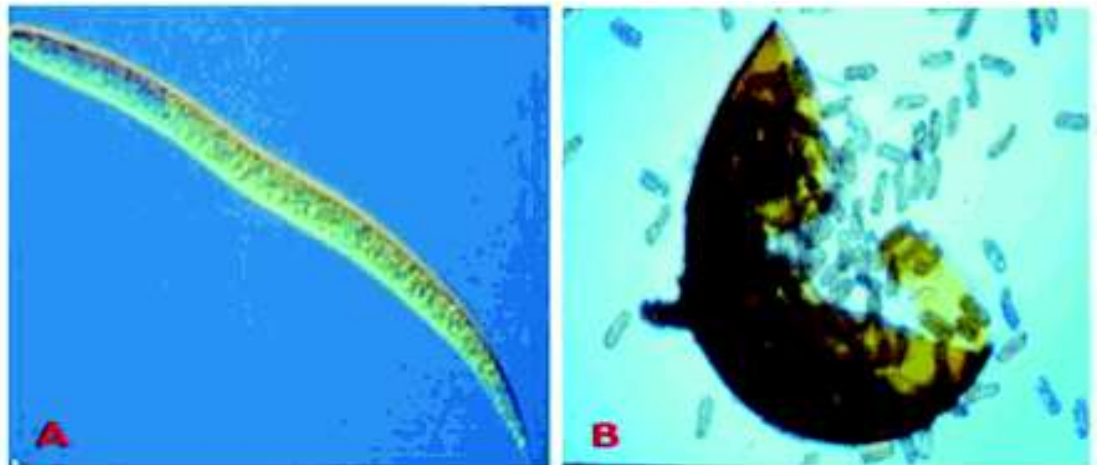
L'étendue des dégâts, en particulier en relation avec le poids de tubercules produit est fortement liée à la quantité d'œufs du nématode par unité de sol. On estime une perte d'environ 2 tonnes / ha de pomme de terre pour chaque 20 œufs par g de sol (Brown, 1969). Si les niveaux de populations du nématode sont très élevés, à cause de la culture répétée de pomme de terre, jusqu'à 80% de la récolte peut être perdue (CABI et OEPP, 1990). Selon Greco (1988), les pertes de rendement peuvent aller de 20% à 70% selon la densité initiale de la population. En France, Des pertes de rendement de l'ordre de 50 % sont fréquemment constatées, surtout en sol sableux (Leveillard, 2011).

En Australie, des études ont été entreprises afin d'évaluer les coûts des pertes engendrées par les nématodes de pomme de terre. Pour cela un enchainement de modèle de propagation, de croissance des populations et impacts économiques sont combinés afin d'estimer les coûts d'expansion sans limites des nématodes à kyste de la pomme de terre sur une durée du temps. Cette analyse prévoit une moyenne de coût annuelle de la propagation des nématodes à kyste de la pomme de terre sur 20 ans de 18,5 million de dollar, qui fluctue sur un intervalle de confiance (11,9- 27,0). Ces pertes peuvent même excéder 37 million de dollar s'il n'y pas eu lieu d'entreprendre des actions de prévention afin d'arrêter l'expansion de ces nématodes et empêcher leur propagation dans d'autres régions (Hodda et Cook, 2009). L'impact économique des nématodes peut être élevé non seulement en raison des pertes de rendement, mais aussi des dépenses entraînées pour lutter contre ces derniers et des interruptions de l'accès aux marchés (A.C.I.A., 2006).

II.5.6.- Morphologie et cycle de vie

II.5.6.1.- Morphologie

Les nématodes dorés de la pomme de terre sont caractérisés par un dimorphisme sexuel des adultes (Schneider et Mugniéry, 1971). Les mâles sont mobiles et leur aspect général est similaire à celui des formes juvéniles (filiformes) (Fig. 17A), mais ils ont 1200µm (1,2 mm) de longueur environ et à proximité de la queue, courte et émoussée, s'observent les organes copulateurs (Golden et Ellington, 1972). Les femelles se transforment après la fécondation en sacs sphériques, résistants de couleur brun rouge, remplis d'œufs (jusqu'à 1000 œufs) (Fig. 17B), de 0,3 à 0,9 mm de diamètre et appelés kystes (Riga *et al.*, 1996). La forme des kystes est similaire à celle des femelles adultes, mais leur peau est tannée et les organes internes ont dégénéré. Les femelles sont pratiquement sphériques avec un cou qui fait saillie et qui contient l'œsophage et les glandes associées (Golden et Ellington, 1972). Les formes juvéniles de deuxième stade sont vermiformes de 470 µm de longueur environ. Leur bouche contient un puissant stylet pour piquer les parois cellulaires et leur queue est effilée (Fig. 17A) (Golden et Ellington, 1972).



A : Juvénile de second stade de *G. pallida* (Sardanelli, 2004 in Mazouz, 2011) ; **B** : kyste ouvert de *G. pallida* (Den Nijs et Karssen, 2007 in Mazouz, 2011), montrant les œufs.

Fig. 17 - Nématodes à kyste du genre *Globodera*.

Distinction entre *G. rostochiensis* et *G. pallida*

Malgré des grandes similitudes morphologique et biologique des *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* elles sont deux espèces distinctes (Stone, 1972). La distinction entre ces deux espèces se fait sur des caractères morphologiques et morphométriques, à partir d'observations effectuées sur les kystes et sur les juvéniles (Tableau 1). Mais le caractère le plus important dans la différenciation entre ces deux espèces c'est le nombre de rides entre l'anus et le fenestre vulvaire (Greco, 1988). Toutefois, le statut spécifique de ces deux espèces a été confirmé par la démonstration de leur non-interfécondité après hybridation in vitro (Mugniéry, 1979).

Tableau 1. La différence entre les deux espèces de *Globodera* (les paramètres sont mesurés en μm).

Paramètre	<i>Globodera rostochiensis</i>	<i>Globodera pallida</i>
Longueur du corps des larves L ₂	468 (445-500)	486 (450-510)
Longueur dustylet	21,8 (19,0-22,8)	23,8 (22,0-24,4)
Largeur et forme des boutons basaux du stylet.	3,5-4,5 arrondis	4,0-4,5 robuste ; carré crochu
Longueur de la vraie queue.	43,9 (37,0-47,0)	51,1 (45,0-55,0)
la longueur de l'hyaline sur l'extrémité de la queue.	26,5 (21,0-31,0)	26,4 (23,0-29,0)
Distance entre l'anus et la bordure des fenestres.	66 (50,0-77,0)	45 (35,0-55,0)
Diamètre de bassin vulvaire	généralement <19,0	généralement >19,0
Nombre de rides entre l'anus et les fenestres vulvaires	généralement >14	généralement <14
Ration de Granek's (Distance anus-vulve/ Distance fenestre-vulve)	>3,2	<3,0

(Turner et Rowe, 2006).

Devant la complexité de la différenciation des espèces de *Globodera* par les critères morphométriques, le recours à des méthodes moléculaires est devenu indispensable. Parmi ces méthodes nous avons la technique IEF, ELISA et PCR par les quelles ont été différenciés les *Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis* dans différents régions (Ibrahim *et al.*, 2001 ; Vejl *et al.*, 2002 ; Polypenko *et al.*, 2005 ; Reid, 2009, Sirca *et al.*, 2010 et Groza *et al.*, 2011).

II.5.6.2.- Cycle de vie

La reproduction des nématodes à kystes de la pomme de terre se fait par voie sexuée (Schneider et Mugniéry, 1971). Le cycle de développement a été étudié essentiellement chez *Globodera rostochiensis*. Généralement, il est influencé par la température et l'humidité. Le nombre de génération diffère selon le nombre de cultures (Greco *et al.*, 1988). En Algérie, nous pouvons trouver 2 à 3 cultures de pomme de terre donc, il y a 2 à 3 générations de *Globodera* par an (Schneider et Mugniéry, 1971).

Sous l'effet des exsudées racinaires de la plante hôte, et dans des conditions optimales de température et d'humidité, les larves de deuxième stade L₂ (stade infectieux) quittent les kystes (stade de repos) par les ouvertures naturelles et se déplacent dans le sol humide à la recherche de racelles d'un hôte adéquat pour les pénétrer. Cette humidité est indispensable pour la pénétration des larves dans les racines de la plante hôte. Le passage d'un état apparemment inactif à celui observé chez les L₂ éclos se produit suite à des modifications de l'ultrastructure des amphides qui sont considérés comme étant des chimiorécepteurs chez les nématodes phytophages (Perry, 1994).

C'est ainsi que les larves explorent les surfaces des racelles pour localiser le site d'attaque (Fudali *et al.*, 2008). En effet, après l'éclosion des kystes et la sortie des larves de deuxième stade L₂, celles-ci pénètrent dans les racines grâce à leurs stylets acérés et mobiles qu'elles possèdent dans la bouche. Elles percent l'écorce de la racine et y pénètrent, généralement près de la coiffe (cortex ou endoderme). Elles progressent ensuite au cylindre central et finissent par perforer une cellule qui va subir de nombreuses transformations (mais sous l'influence des sécrétions salivaires qui sont des protéines originaires des glandes subventrales œsophagiennes dont le rôle est très important dans les événements primeurs

de cette relation nématode-hôte (Smant *et al.*, 1997)): épaissement des parois latérales, destruction de la paroi distale, on obtient alors une cellule géante multi nucléée à cytoplasme dense à vacuole réduite qui fonctionne comme une cellule de transfert. Ensuite, les lamelles médianes des parois cellulaires se résorbent, et les cellules se séparent les unes des autres. Le nématode aspire le contenu de cette cellule à travers de tubes alimentaires qui a lui même sécrétés (Rousselle *et al.*, 1996), modifiant ainsi, localement l'expression de leur génome (Poch *et al.*, 2006), et déclenchant la formation de sites spéciaux de nutrition par une substantielle reprogrammation du processus de développement des cellules des racines (Swiecicka *et al.*, 2009). Ces cellules géantes ou cellules de transfert sont des sites de nutrition appelés « Syncytium » fournissent l'environnement nutritif pour l'accomplissement du cycle de vie du nématode (Poch *et al.*, 2006).

Les larves de deuxième stade se développent dans cet endroit. Elles doivent passer par deux stades juvéniles encore L3 et L4 pour devenir un mâle ou une femelle adulte pendant 20 jours avec une température de 20°C (Moxnes et Hausken, 2007). Les larves de nématode ne sont pas prédéterminées à être mâle ou femelle. La détermination du sexe est strictement épi génétique. C'est-à-dire, tout facteur favorable aux nématodes induit le phénotype femelle, et tout facteur défavorable comme la surpopulation, un mauvais état physiologique de la plante attaquée, induit le phénotype mâle (Rousselle *et al.*, 1996). Cette détermination a été démontrée par l'épuisement successif de toutes les hypothèses possible (Mugniéry et Fayet, 1984), toutefois ce caractère a été confirmé pour *Globodera rostochiensis* par Mugniéry et Balandras, en 1986 et pour *Globodera pallida* par Balandras *et al.*, en 1991.

Le dernier stade de développement est le stade adulte qui correspond au gonflement des femelles, d'abord préformes puis sphériques (pas de cône vulvaire) et qui par hypertrophie de leur système digestif et reproducteur, deviennent très grosses font éclater l'écorce de la racine mais y restent attachées, le cou et la tête restant seuls plongés dans les tissus. Elles sont alors visibles sur les racines sous forme de petites boules de 0,3 à 0,9 mm de diamètre (Stelter, 1971 in CABI et OEPP, 1990). Elles sont blanches chez *Globodera pallida* et blanches puis jaune doré chez *Globodera rostochiensis*. Elles sont ensuite fertilisées par les mâles (Rousselle *et al.*, 1996).

Les mâles adultes filiformes sortent des racines et migrent vers le sol. Ultérieurement, ils se déplacent et retournent vers celle-ci attirés par les phéromones sexuelles des femelles adultes afin de les féconder. Cette attractivité sexuelle des femelles est plus forte pour les mâles de leur propre espèce que pour les autres (Mugniéry, 1979). Après l'accouplement, les mâles meurent et les femelles demeurant sur la racine pendant que les œufs se développent dans leur intérieur (qui durera 16 à 17 jour à 20°C). Quant les femelles sont totalement développées elles meurent ; leur peau durcit, devient marron et se transforme en une enveloppe protectrice (le kyste) autour des œufs à l'intérieur. A ce moment, les kystes se détachent de la surface de la racine et se retrouvent dans la terre, où les œufs soit éclosent immédiatement pour attaquer la culture, soit demeurent dormants pour jouer le rôle de source d'inoculum pour les cultures futures. Les kystes peuvent garder leur pouvoir infectieux pendant de nombreuses années (plus de vingt ans) en l'absence de Solanaceae hôtes et permettent d'assurer plusieurs infestations consécutives (Stelter, 1971 in CABI et OEPP, 1990).

Chez les nématodes à kyste de la pomme de terre, pour un cycle de vie complet, il faut 38 à 48 jours. Cependant cette durée peut changer selon le climat de la région. Il faut 126 et 163 jours dans les climats subtropicaux et 275 et 450 jours dans les climats tempérés, pour atteindre le stade de femelle adulte et kyste respectivement (Gréco *et al.*, 1988). Les

œufs éclosent de façon échelonnée et les kystes ne se vident généralement pas en une seule saison, mais la sortie des larves s'échelonne sur plusieurs années (Leveillard, 2011).

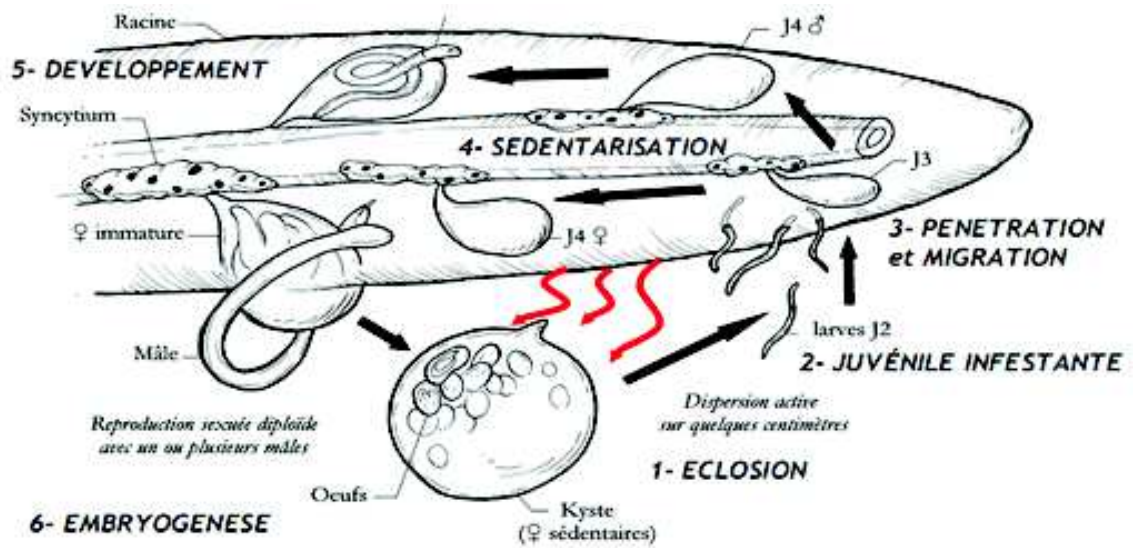


Fig. 18 - Cycle biologique des nématodes à kyste du genre *Globodera*

(Picard, 2005).

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

II.5.7.- Dispersion des nématodes à kystes

II.5.7.1.- Dispersion active

Les juvéniles infestantes se déplacent dans le sol même si leur petite taille ($\approx 500 \mu\text{m}$) ne leur permet pas de migrer au delà d'un mètre. Ils ne peuvent donc pas se disperser facilement de champ en champ (Blancard *et al.*, 2009).

II.5.7.2.- Dispersion passive

Les kystes, forme de survie des nématodes à kyste contenant les œufs peuvent facilement être transportés par les activités humaines (le matériel agricole, les chaussures, ou encore l'eau d'irrigation). Le vent peut également propager les kystes, très légers, à plus longue distance. Enfin, des transports occasionnels mais sur de très longues distances peuvent se faire au cours des importations/exportations de plantes ou de tubercules contaminés (Blancard *et al.*, 2009).

II.5.8.- Plantes hôtes

Les deux espèces de nématodes à kystes de la pomme de terre sont des parasites obligatoires de certains membres de la famille des Solanacées (oligophages). La pomme de terre (*Solanum* spp.) est l'hôte principal, suivi de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et de l'aubergine (*S. melongena* L.). Au total, quelques 90 espèces du genre *Solanum* sont reconnues comme étant des hôtes de ces ravageurs (Bélair, 2005). Les *Globodera* peuvent être inféodés également aux adventices associées à la culture de pomme de terre,

tel la douce-amère (*Solanum dulcamara*), la morelle noire (*Solanum nigrum*) et la jusquiame (*Hysagamus niger*) (Schneider et Mugniéry, 1971).

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

II.5.9.- Diapause

Après la mort de la femelle, la cuticule de celle-ci durcit, devient brune et se transforme en kyste. Celui-ci peut renfermer 1000 œufs contenant chacun un juvénile du deuxième stade en arrêt de développement et incapable d'éclore, même sous l'action des exsudats radiculaires (Rousselle *et al.*, 1996).

Les nématodes peuvent augmenter leur taux de survie en arrêtant leur développement sous les conditions défavorables (Den Nijs et Lock, 1992). Cette période d'inactivité est appelée « dormance », qui est répartie en période de « latence » et de « diapause » (Salazar et Ritter, 1993). La latence est un stade hypometabolique, directement initié par les conditions défavorables du milieu et se termine quand les conditions favorables reviennent (Salazar et Ritter, 1993). La capacité des nématodes phytophages à synchroniser leur cycle de vie avec celui de leur hôte est lié à la diapause (c'est le rôle principal de diapause). Cette dernière semble être initiée par des facteurs internes (Gonzales et Phillips, 1996). Cette diapause n'est levée qu'après l'action de la température basse (Rousselle *et al.*, 1996). Les nématodes de la pomme de terre présentent consécutivement deux diapauses, une diapause obligatoire qui est initiée immédiatement après formation des kystes et qui a une durée limitée et une autre facultative qui est fixée durant la formation de la population et qui est peut disparaître avec l'augmentation de la longueur de jours (Salazar et Ritter, 1993).

Normalement, il ne se produit qu'une seule génération par an, car les juvéniles néoformés entrent en diapause, un état de repos qui ne sera levé que par l'effet de températures hivernales. Cette diapause est généralement plus forte chez *G. rostochiensis* que chez *G. pallida*. Néanmoins, il a été constaté, en France, dans des situations géographiques favorables à la culture précoce de la pomme de terre, que quelques populations de *G. pallida* peuvent présenter une diapause très peu prononcée et un deuxième cycle peut s'initier en automne sur les repousses de pomme de terre (Chauvin *et al.*, 2008).

Pour activer les juvéniles à l'intérieur des kystes et arrêter la diapause, l'agent d'éclosion présent dans les diffusâts des racines de pomme de terre (PRD) est nécessaire (Salazar et Ritter, 1993). Le temps que met le nématode pour répondre aux sécrétions racinaires de la plante hôte par l'éclosion dépend de la durée de la diapause (Holz *et al.*, 1998). Le taux d'éclosions et la réaction des deux nématodes à kyste de la pomme de terre aux PRD et à la température sont différents, et suggèrent essentiellement une différence dans leur écologie (Den Nijs et Lock, 1992).

II.5.10.- Facteurs influant sur le développement de *Globodera* sp.

L'interaction entre le parasite et son hôte est un phénomène complexe, géré par de nombreux facteurs tenant au nématode et à la plante mais aussi au climat et à la nature physique et chimique du sol (Schneider et Mugniéry, 1971). Certains de ces facteurs ont pu être mis en évidence.

II.5.10.1.- Facteurs abiotiques

II.5.10.1.1.- Facteurs climatiques

II.5.10.1.1.1.- Température

La température a un effet considérable sur le développement des *Globodera*. Les basses températures stimulent l'éclosion et le développement des larves, alors que les hautes températures les inhibent. En effet, une température au dessous de zéro, en l'occurrence, s'avère nuisibles pour les nématodes. Les larves ne peuvent éclore que si la température du sol dépasse 7°C. (Schneider et Mugniéry, 1971). *Globodera rostochiensis* éclot mieux dans les températures 15 et 20°C alors que pour *Globodera pallida* la température optimale pour l'éclosion est quelque peu basse, entre 10 et 20°C (Salazar et Ritter, 1993).

Par l'utilisation de ces résultats en conditions naturelles, on peut suivre, avec une bonne précision, l'évolution des populations endoradiculaires en utilisant les sommes des températures journalières relevées à 13 cm de profondeur, ce qui est un premier pas pour la prévision de dates de récoltes opérées avant maturation des kystes (Mugniéry, 1978). Evans (1968) cité par (Mugniéry (1978) , par des études conduites aux champs, détermine qu'il faut approximativement 556 °/J avec 4,4 °C comme température seuil de développement, pour que la plupart des larves infectantes de *G. rostochiensis* deviennent de jeunes adultes.

II.5.10.1.1.2.- Humidité

Humidité influe sur la distribution géographique et elle contrôle le mouvement de *Globodera*. En général, les œufs éclosent librement dans l'eau sans stimulus, mais l'eau est nécessaire pour le déplacement des larves (Schneider et Mugniéry, 1971). La présence d'une humidité convenable au niveau des sites d'attaque d'un nématode endoparasite favorise la pénétration des larves (Caubel *et al.*, 1980). Lorsqu'il n'existe pas de film d'eau, les nématodes se déshydratent et meurent ou s'enkystent, par conséquent, ce l'excès d'eau induit une réduction de l'oxygénation du sol et une asphyxie du parasite (Cayrol, 1975).

II.5.10.1.2.- Facteurs édaphiques

II.5.10.1.2.1.- Nature physique du sol

Les attaques des *Globodera* sont plus sévères dans les sols légers et poreux qui paraissent favoriser les nématodes (Schneider et Mugniéry, 1971). D'après Trigiano *et al.* (2004), la texture et la structure de sol sont d'importance primaire en déterminant le nombre et le type de nématode.

II.5.10.1.2.1.1.- Porosité

La porosité favorise le déplacement des nématodes vers les horizons profonds où ils constituent un potentiel infectieux important assurant ainsi la pérennité du parasite (Caubel *et al.*, 1980). Plus les pores de sol de très grande taille seront rares, ou au contraire plus les pores de très petites tailles seront nombreux, et plus les larves auront des difficultés d'acheminer vers les racines. (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.5.10.1.2.1.2.- Oxygène

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

II.5.10.1.2.1.3.- pH

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

II.5.10.1.2.2.- Composition chimique du sol

Les éléments minéraux influent sur le développement des nématodes. En effet, les auteurs décrivent des expériences indiquant que le Ca⁺, libre n'est pas essentiel pour l'éclosion des œufs de *Globodera rostochiensis* Woll. L'éclosion de ces œufs a été stimulée par des solutions d'exsudats de racines de pomme de terre auxquelles des chlorures de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ et Mg⁺ (Clarke et Hennessy, 1983).

II.5.10.2.- Facteurs biotiques

II.5.10.2.1.- La plante hôte

Les nématodes à kyste de la pomme de terre ne peuvent se multiplier qu'en présence de plantes hôtes. Les exsudats radiculaires de la pomme de terre provoquent l'éclosion des œufs contenus dans les kystes. En général, *G. rostochiensis* éclos plus fortement que *G. pallida*. Manifestement l'exsudat racinaire est le facteur majeur qui induit l'éclosion chez *G. pallida*, alors que pour *G. rostochiensis* d'autres facteurs peuvent induire l'éclosion aussi bien. *G. rostochiensis* montre un comportement plus opportuniste, en réagissant à des déclenchements d'éclosion non spécifiques. Toutefois, elle a la capacité de survivre pendant une certaine période dans le sol sans qu'il y ait la plante hôte. Elle survit dans le sol plus longtemps que *G. pallida* (Den Nijs et Lock, 1992).

II.5.10.2.2.- Micro-organismes du sol

Des études récentes ont montré que les micro-organismes du sol qui viennent dans la rhizosphère jouent un rôle significatif dans l'éclosion des nématodes à kyste (Olsson, 2009). Rayan et Jones, en 2004, ont isolé et testé 70 rhizobactéries. Ils ont trouvé que neuf d'entre elles ont un effet sur l'éclosion des *Globodera* sp. Six affectent l'éclosion de *Globodera pallida* et trois affectent *Globodera rostochiensis* ; mais aucun n'affecte les deux à la fois.

II.5.10.2.3.- Matière organique

D'après Jones (1982), la décomposition de la matière organique dans le sol libère certains produits toxiques tels que l'acide butyrique qui agit négativement sur le développement des nématodes (il permet la réduction des populations).

II.5.10.3.- Autres facteurs

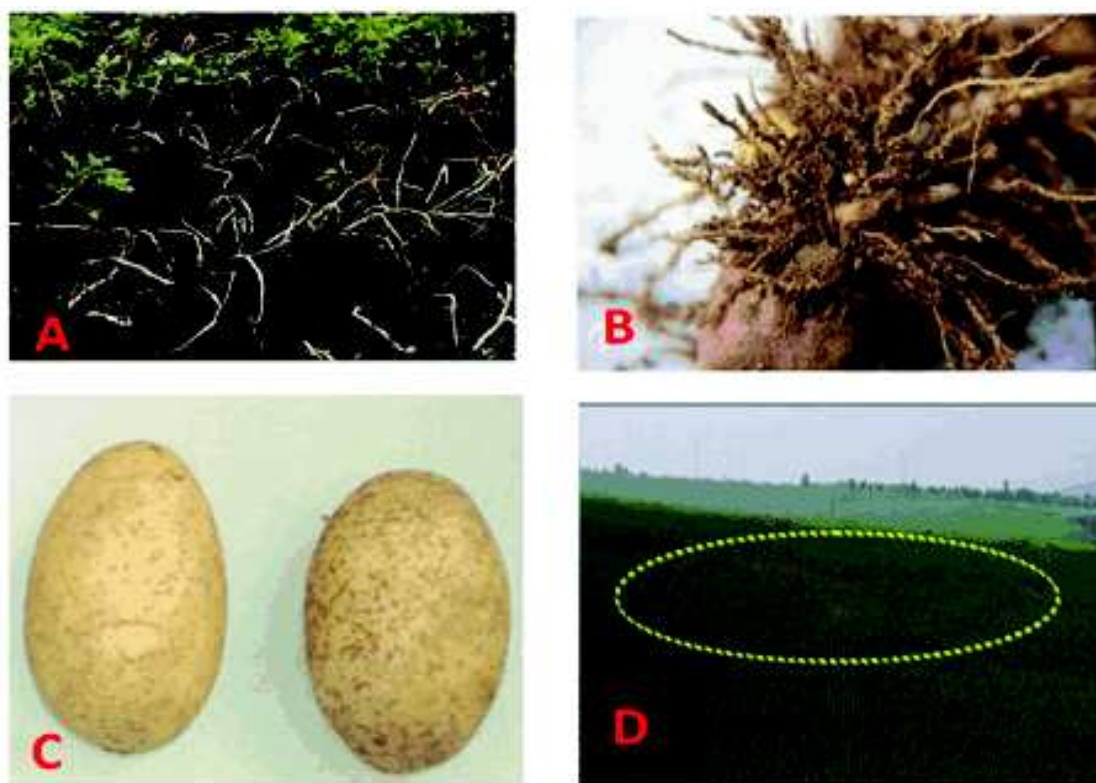
Le système de culture joue un rôle très important sur le développement de *Globodera*. En effet, la monoculture favorise la pullulation de *Globodera*. Par contre, la rotation des cultures

avec des plantes non hôtes peut limiter et retarder l'augmentation des niveaux de population (Mugniéry, 1982).

II.5.11.- Symptômes et dégâts

Il n'y a pas de symptômes spécifiques de l'attaque des *Globodera* sp. Les symptômes décrits pour ces derniers peuvent être provoqués par de nombreuses autres causes et ne peuvent donc pas être pris comme preuve de la présence du nématode. Des preuves incontournables sont la présence de kystes dans des échantillons de terre ou bien sur les racines de la plante hôte (CABI et OEPP, 1990 ; OEPP/EPPO, 2004 et OEPP/EPPO, 2013). Donc l'analyse nématologique est indispensable.

Les larves infestantes perforent les parois des cellules racinaires dont elles se nourrissent introduisant ainsi la formation de cellules géantes polynucléées qui entravent la circulation de la sève et perturbent la nutrition des plantes (Mugniéry, 1984). Les conséquences de la présence de nématodes dans les racines sont variées. Les premiers symptômes sont des retards de croissance (entre nœuds courts, nanisme) et une végétation faible qui se manifeste sous forme de taches au milieu (plus ou moins circulaires) d'une culture d'apparence normale (Fig. 19D) (Rousselle *et al.*, 1996). Dans le cas graves, on observe des dépressions de végétation formant des taches plus ou moins étendues. Les plantes attaquées sont petites et chétives avec des racines souvent fourchues, formant ainsi un chevelu abondant et peu développé. Ces attaques se traduisent par une coloration pale des feuilles supérieures avec des taches brunes aux extrémités et en bordure des folioles, alors que les feuilles inférieures fanent et meurent (Fig. 19A). Ainsi la réduction de la taille et le nombre de tubercules, et détérioration de la qualité suite aux piqûres de nématode sur la surface des tubercules (Fig. 19C). A ces dommages directs s'ajoute d'autre, souvent aussi importants, dus à ces altérations qui offrent de nombreuses portes d'entrée à divers parasites secondaires, champignons ou bactéries (Schneider et Mugniéry, 1971), ou à l'action conjuguée de plusieurs espèces de nématodes.



(A) feuilles (Stuart et al., 2008) ; (B) racine (Somerhausen, 2007 in Mazouz, 2011) ; (C) tubercule (Chauvin et al., 2008) et (D) parcelle de pomme de terre (INPV, 2009).

Fig. 19 - Symptôme de *Globodera* sp.

II.5.12.- Variabilité génétique pour la virulence

Les deux espèces de *Globodera* ont plusieurs pathotypes différents (Kort, 1974). Les pathotypes se caractérisent par leur capacité à se multiplier sur certains clones de *Solanum* à tubercules et sur les hybrides utilisés pour la sélection. Il existe cinq pathotypes chez *Globodera rostochiensis* (Ro1-Ro5 - nomenclature internationale) et trois chez *G. pallida* (Pa1-Pa3) (Kort et al., 1977). Certains se reconnaissent par leur incapacité pratiquement totale à se multiplier sur des cultivars de pommes de terre spécifiques (résistance monogénique); par exemple, les cultivars résistants de pomme de terre les plus couramment utilisés (résistance basée sur le gène H1 issu de clones de *S. tuberosum* subsp. *andigena*) sont résistants au Ro1 de *G. rostochiensis* uniquement. D'autres pathotypes présentent différents niveaux de capacité à se multiplier sur différents cultivars (CABI et OEPP, 1990). Le système de classification des pathotypes internationalement reconnu concerne principalement les pathotypes présents en Europe (et qui s'en sont disséminés) et peut donc ne pas être utile en Amérique du Sud (Kort et al., 1977).

La différenciation entre pathotypes n'est pas toujours nette. Certaines populations de kystes présentent des caractéristiques intermédiaires. C'est la raison pour laquelle on parle de plus en plus de groupes de virulence. On sait que certains pathotypes ont une aire de répartition étendue et que certains ont un impact économique plus important que d'autres, mais on ne dispose pas d'informations exactes concernant la répartition des pathotypes

sur le territoire. Pour la détermination des pathotypes, il faut avoir recours à des tests de réaction sur des plantes hôtes spécifiques.

Trudjil (1985) cité par Philips *et al.* (1992) qui a conclu que la plupart des pathotypes des populations européennes de nématode à kyste de la pomme de terre sont hétérogènes pour le gène de virulence. Ceux là sont les pathotypes Ro1 et Ro4 de *Globodera rostochiensis* et Pa1 de *G. pallida* qui comprennent les populations homozygotes pour les gènes virulents vis-à-vis des gènes résistants H1 et H2 respectivement (Tableau 2), toutefois les populations du même pathotype ne se comportent pas toutes de manière identique. Une telle variabilité pour la virulence dans un pathotype suggère des fréquences différentes de gène pour la virulence (Turner *et al.*, 1983).

Espèce	<i>Globodera rostochiensis</i>		<i>Globodera pallida</i>	
Pathotype	Ro1/4	Ro2/3/5	Pa1	Pa2/3
Gène de résistance				
H1	–	+	+	+
H2	+	+	–	+

Tableau 2. Développement de pathotypes (+) ou non (–) en présence des gènes de résistance H1 et H2.

(Chauvain *et al.*, 2008).

II.5.13.- La lutte contre les nématodes à kystes de la pomme de terre

La lutte contre les nématodes à kyste peut être très difficile pour de nombreuses raisons. Sous des conditions optimales, la femelle adulte a un niveau élevé de la fécondité (plus de 1000 œufs/kyste). Les œufs de nématodes à kyste sont enfermés dans une enveloppe rigide qui empêche l'invasion de prédateurs potentiels et protège les œufs à l'intérieur contre la dessiccation rapide. Cette enveloppe protectrice rend également difficile à détruire les œufs avec les nématicides. Les œufs peuvent rester en dormance pendant plusieurs années et les kystes peuvent rester viables dans le sol sans un hôte aussi longtemps où le type de sol et la température sont idéals. Mais aussi la dissémination facile des kystes et le mode de vie souterrain. Mais l'emploi simultané de méthodes complémentaires en conformité avec les principes de base de la lutte intégrée, peut être efficace (Schneider et Mugniéry, 1971).

II.5.13.1.- Lutte préventive

Dès que le parasite s'est installé au sein de la parcelle, le mal est fait. Mieux vaut prévenir que guérir. La lutte préventive se fait par un contrôle rigoureux afin d'empêcher toute introduction de plantes ou de tubercules contaminés par ces nématodes dans les zones où ils ne se trouvent pas encore. Cela commence par la surveillance aux frontières par le refoulement de tout végétal contaminé et destiné à être replanté.

A l'intérieur de chaque pays, l'agriculture doit s'assurer, par des analyses de l'état sanitaire des semences nationales, au besoin les traiter par trempage dans une solution diluée d'hypochlorite de sodium (Rousselle *et al.*, 1996).

A l'intérieur de chaque exploitation touchée, on s'abstiendra de travailler les parcelles infestées en les mettant par exemple en pâture ou plante non hôte. Le nettoyage et la désinfection des instruments agricoles sont préconisés. Au niveau de la parcelle, une

analyse nématologique s'impose, dans le cas où l'on projette de faire la pomme de terre. La rotation fait partie des méthodes prophylactiques (Rousselle *et al.*, 1996).

La sensibilisation et la vulgarisation au profit des agricultures par la collaboration des différentes institutions et l'utilisation des différents moyens (tv, radio, journaux, conférences, sorties,...etc.) pour mieux gérer l'infestation des parcelles de pomme de terre dans le temps et dans l'espace.

II.5.13.2.- Lutte curative

Elle est d'ordre cultural, génétique, chimique et biologique. L'objectif est la limitation des nématodes en zones de consommation et leur élimination en zones de plants (Rousselle *et al.*, 1996).

II.5.13.2.1.- Méthodes culturales

Elles exigent une connaissance parfaite des facteurs qui régissent le développement et le comportement de l'organisme à combattre et de la culture à protéger. Parmi les techniques culturales à conseiller, c'est l'utilisation de plants sains et certifiés, la destruction des débris des plantes atteintes et l'élimination des repousses qui permettent le maintien des populations du sol (Rousselle *et al.*, 1996). Nous avons aussi :

- **Plantes pièges**

La décontamination peut être fortement accélérée par les cultures pièges de pomme de terre (piéger les larves dans la plante et à les détruire avant la fin du cycle des parasites). Elle consiste à réaliser une plantation à haute densité de petits tubercules, fortement prégermés. Cinq semaines plus tard, la culture est détruite, soit chimiquement, soit mécaniquement. Dans ces conditions, il n'y a pas de formation de tubercules fils ni, par conséquent, de repousse estivale (Chauvain *et al.*, 2008). Après destruction de la culture, les diminutions de populations mesurées sont de l'ordre de 70 à 80 %, ce qui correspond aux pourcentages d'éclosion des kystes sous l'influence des exsudats radiculaires observés pendant une culture de pomme de terre.

- **Le choix de la date de mise en culture**

Ceci peut être accompli en réduisant le délai d'achèvement du cycle de vie ou la réduction du nombre de cycles dans une saison de croissance. Il faut alors planter la pomme de terre très tôt dans la saison car dans ces conditions, le végétal se développe plus tôt que les nématodes. Ainsi, des variétés précoces plantées sur le littoral en début du mois de mars, peuvent être récoltées à la mi-mai, avant maturité des femelles (Chauvain *et al.*, 2008).

- **Jachère**

La jachère joue un rôle important dans la destruction de parasite. En effet, en Algérie, la jachère estivale détruit 50% des œufs (Mugniéry et Zaouchi, 1973 in Mugniéry, 1982), ce qui aboutit à 80% de réduction annuelle.

- **La rotation**

La rotation des cultures a pour but d'introduire dans le système cultural des espèces ou des variétés qui multiplient faiblement ou pas du tout les nématodes. Tiilikkala, en 1991 a trouvé que dans les monocultures la densité de populations de nématodes peut passer de 0,1 à 256 larves/g de sol en 3 ans. L'utilisation de plantes non hôtes en Algérie réduit les

populations de nématodes à kystes de 80%, 30% à 33% au printemps automne et de 50% en été (Mugniéry, 1982). À cause de la très longue persistance des kystes dans le sol, le retour en pomme de terre et autres plantes hôtes dans les champs infestés peut se faire seulement après 5 à 10 ans de rotation (Bélair, 2005). Des longues rotations contribuent à la diminution naturelle des populations jusqu' à 30 % par an (Stuart *et al.*, 2008).

II.5.13.2.2.- Lutte génétique : utilisation de variétés résistantes

Selon Taylor (1968), l'utilisation des variétés résistantes est l'un des meilleurs moyens pour combattre les nématodes, parce qu'elle est respectueuse de l'environnement et moins coûteuse que l'application de nématicides. Elle est capable à court et moyen terme d'abaisser les populations et de réduire leur dommages. Selon Halsetch, (2006) cité par Mazouz (2011), à chaque saison d'utilisation d'un cultivar résistant, la population de nématodes décroît de 90-95 %, comparé à une réduction de 80-90 % obtenue par fumigation du sol et 30-40 % suite à l'utilisation des plants de pomme de terre indemnes.

Cependant, l'utilisation des variétés résistantes présente certaines limites. En effet, les sources de résistances utilisées présentent souvent une grande spécificité et ne sont efficaces que contre une espèce, voire une population. C'est le cas notamment du gène de résistance H1 de la pomme de terre qui ne permet de contrôler que les populations de *G. rostochiensis* de pathotype Ro1/4. Contre les autres pathotypes de *G. rostochiensis* ou *G. pallida*, seules des résistances partielles ont été identifiées. En conséquence il existe des variétés commerciales résistantes à *Globodera rostochiensis*, mais le cas de *Globodera pallida* est plus compliqué dans la mesure où il existe que peu de variétés résistantes. De plus, elles sont tardives et donc inadaptées aux cultures de primeurs (Chauvin *et al.*, 2008). L'utilisation des sources de résistance nécessite de s'assurer de leur durabilité dans le temps. Des cas de contournement de gènes de résistance utilisés contre *G. rostochiensis* (H1) ont été recensés. Le risque principal lié à ces phénomènes est l'appauvrissement rapide des ressources génétiques disponibles. En effet, chaque évènement de ce type ne permettrait plus d'utiliser les résistances dont nous disposons pour lutter contre les nématodes. De plus les contournements des résistances favorisent la sélection de populations de nématodes de plus en plus virulentes. Une utilisation raisonnée de ces résistances est donc nécessaire afin d'en assurer la durabilité. Une autre limite de l'utilisation de variétés de plantes résistantes est le risque de modification de l'équilibre des populations dans le sol ce qui ne ferait que déplacer le problème. C'est le cas notamment de l'utilisation intensive du gène H1 aux Pays Bas, efficace contre une population de *G. rostochiensis*, qui a été utilisé durant dix années consécutives et qui a permis de réduire le niveau d'infestation par ce nématode, mais en contre partie, les populations de *G. pallida* initialement présentes en faible proportion dans le sol, se sont développées (Blanchard, 2006).

II.5.13.2.3.- Méthodes physiques

La solarisation du sol : Elle permet une réduction importante de la population en labourant les surfaces infectées plusieurs fois durant la saison chaude.

La lutte par inondation des terres : La submersion par l'eau semble parfois possible pour lutter contre les nématodes (les nématodes meurent par asphyxie). Cependant c'est un moyen très peu utilisés, parce que l'utilisation des parcelles difficile après inondation et même le coût.

II.5.13.2.4.- Méthode biologique

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

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

II.5.13.2.5.- Méthodes chimiques

La méthode chimique s'inscrit comme un moyen plus efficace, destinée à réduire la population de nématode. Bien utilisés, les nématicides sont efficaces pour détruire jusqu'à 80% des nématodes à kyste. Malheureusement, à partir des 20% restant la population initiale peut-être reconstituée en 1 an (Somerhausen, 2007 in Mazouz, 2011). Cependant, leur utilisation est limitée ou interdite du fait de leur forte toxicité pour l'environnement, l'utilisateur, les micro-organismes et la contamination de la nappe phréatique. Ainsi le coût et la durée d'action est en général limitée et l'effet du produit diminue progressivement après l'application.

II.5.13.2.6.- Lutte intégrée

Aucune des méthodes de lutte applicables n'étant entièrement satisfaisante. L'éradication totale du parasite est pratiquement impossible. Alors, pour contenir les dégâts dans les limites acceptables, il est recommandé l'emploi combiné et raisonné de toutes les méthodes dont on dispose, de façon à maintenir les populations de nématodes à un niveau assez bas, pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables : ce qu'on appelle la lutte intégrée, c'est une méthode de lutte qu'est très recherchée présentement (Schneider et Mugniéry, 1971).

Deuxième partie : Analyse expérimentale

Chapitre I Présentation de la région d'étude.

I.1.- Situation géographique

Ain Defla est l'une des principales zones agricoles de production de la pomme de terre. Elle est comprise dans la région nord-centre. Elle est située à 145 km au Sud-ouest de la capitale d'Alger, à 36° 16' de latitude Nord, à 1° 57' de longitude Est avec une altitude de 12 km. La région s'étend sur une superficie de 4544,28 km² avec une superficie agricole totale (SAT) de 235 611 ha soit 55.3% de la superficie totale de la wilaya. La superficie agricole utile (SAU) est de l'ordre de 181 676 ha soit 76.5% de la SAT. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Tipaza, au Nord-est par la wilaya de Blida, au Sud par la wilaya de Tissemsilt, à l'Est par la wilaya de Medea et à l'Ouest par la wilaya de Chlef. Elle présente une diversité d'espaces naturels du Nord au Sud, qui s'individualise en trois grandes zones agro-écologiques bien distinctes (Fig. 20).

Les parcelles de pomme de terre choisies appartiennent à la ferme pilote de Si Brahim Benbrik à vocation céréalière qui se trouve dans la commune de Bir Ould Khelifa juste à l'Est du chef lieu de la wilaya, à une distance d'environ 40 km. Elle est limitée par Oued Chellif au Nord, commune de Bordj Emir Khaled au Sud, Oued Massine à l'Est et des terres de privés à l'Ouest. Elle est étendue sur une superficie agricole de 1309 ha dont 962 ha sont irrigués et 347 ha sont en sec.

Le second volet de l'étude a été conduit dans des parcelles situées dans les 16 communes les plus exploitées en pomme de terre de la région d'Ain Defla. Il s'agit de : Bir Ould Khelifa, Bourached, Djendel, Bordj Emir Khaled, El Abadia, Arib, Ain Soltane, El-Amra, Rouina, Ain Defla, Mekhatria, El Attaf, Ain Bouyahia, Ain Iecheikh, Tarik Ibn Ziad et Bathia.

I.2.- Caractéristiques pédologiques

La région d'Ain Defla présente un sol riche qui favorise le développement de la culture de pomme de terre. Elle est classée parmi les premières wilayas productrices de ce produit. L'étude géologique effectuée par Boulaine en 1957 révèle que les sols de la région sont généralement des sols lourds, fertiles et de texture variable avec prédominance d'éléments fins (80%) dont plus de 45% d'argile. Cette particularité leur confère une plasticité excessive, qui les rend difficiles à travailler. La perméabilité est faible et on note une battance importante d'où une mauvaise stabilité structurale. Les meilleurs sols sont répartis de part et d'autre de l'Oued Chélif sur toute la vallée du Chélif avec une superficie globale d'environ 65 000 ha. On distingue une mosaïque de texture à savoir : Sols limono-argileux, sols argilo-limoneux et sols sablo-limoneux.



Fig. 20 - Représentation cartographique de la région d'Ain Def

I.3.- Réseau d'irrigation

L'Oued Cheliff avec sa longueur de 700 km, représente la principale source hydrique de la wilaya d'Ain Defla. Par ailleurs, il existe 4 barrage : Ghrib à Oued Chorfa avec 280 millions mètres cubes ; Derdeur à Tarik Ibn Ziad avec 115 M m³ ; Sidi M'hamed Ben Taiba à Arib avec 75 M m³ et Harraza à Djelida avec une capacité de 70 M m³ (Agence Nationale des Ressources Hydriques de Khemis-Miliana, 2012).

1.4.- Climat

D'une manière générale, Ain Defla se caractérise par un climat méditerranéen semi-aride avec un caractère de continentalité marqué. La période estivale s'étend sur 6 mois, voire plus. A cela s'ajoutent des masses d'air chaud (47 jours). L'hiver froid est ressenti surtout dans la partie centrale du Zaccar et assez pluvieux avec un printemps limité (avril-mai) et un automne très bref (en octobre). Les gelées sont relativement fréquentes de novembre à mai. On enregistre une moyenne de 74 jours de gel par an.

I.4.1.- Température

En hiver, les amplitudes thermiques peuvent être importantes, jusqu'à (+20°C). Il arrive que les températures soient égales ou inférieures à (0°C) la nuit au mois de janvier. Les écarts de température saisonnière sont importants. Au mois d'août, le maximum peut atteindre 48°C. C'est une des régions sub littorales les plus chaudes d'Algérie pendant la saison

estivale. Les températures mensuelles moyennes de 2012-2013 sont mentionnées dans le tableau 3.

I.4.2.- Pluviométrie

La pluviométrie est variable et irrégulière suivant les mois et les années. Elle est mal répartie dans le temps. Elle est variable aussi suivant les saisons, la grande quantité est enregistrée en hiver. La pluviométrie mensuelle moyenne de 2012-2013 est représentée dans le tableau 3.

Mois Paramètre	Septem.	Octo.	Novem.	Décemb.	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
T (°C)	26,6	21,5	15,6	10,8	10,2	9,4	41,1	18	20
P (mm)	25	34,2	71,2	46	79,1	58,6	53	78,6	30

Tableau 3. Température et pluviométrie mensuelles moyennes (2012-2013) de la région d'Ain Defla.

(I.T.G.C. Khemis Miliana, 2013).

Il s'avère que la plus basse température (9,4°C) est enregistrée au cours du mois de février. La température la plus élevée (26,6 °C) est celle du mois de septembre. Concernant la pluviométrie, janvier est le mois le plus pluvieux avec une pluviométrie moyenne de 79,1mm. Le mois de septembre s'avère le plus sec avec une pluviométrie 25 mm. La figure 21 montre le diagramme ombrothermique (2012-2013).

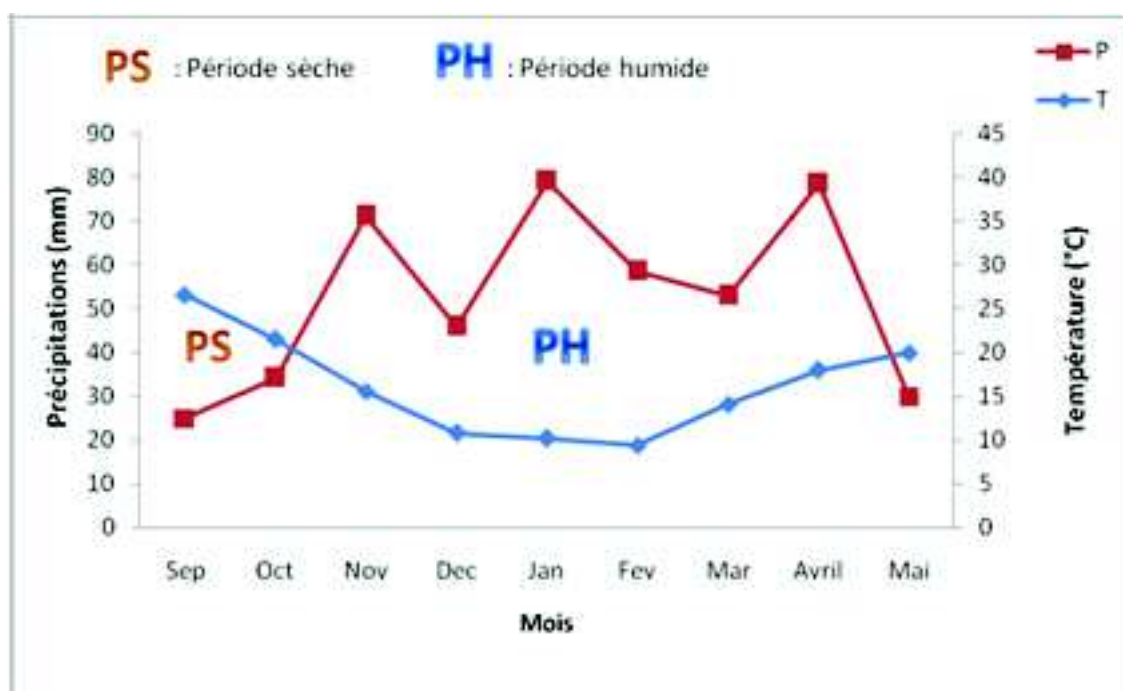


Fig. 21 - Diagramme ombrothermique de Gausson de la région d'Ain Defla (2012-2013).

Le diagramme établi à partir des données climatiques de la station d'Ain Defla (2012-2013) révèle l'existence de deux périodes bien distinctes. Une période sèche, elle s'étend du début du mois de septembre jusqu'au mi octobre et au début de mois de mai. Elle se caractérise par de faible précipitation (25-34,2 mm). Une période humide, qui s'étale du mi octobre au début du mois de mai. Elle est caractérisée par un maximum de précipitation de 79,1 mm.

Chapitre II Etude de la sensibilité de trois variétés de pomme de terre par les *Globodera* en conditions naturelles.

La culture de pomme de terre est attaquée par de très nombreux agents pathogènes, bactéries, virus, champignons et nématodes, contrôlés principalement pour ces derniers par voie chimique. Ce poste phytosanitaire constitue l'une des principales charges pour la production de pomme de terre d'une part et d'autre part, si les analyses de résidus ne révèlent pas la présence des molécules les plus utilisées dans les tubercules, on les retrouve régulièrement dans les sols et les eaux (Vereijken et van Loon, 1991). Dans un contexte général où la protection de l'environnement et des consommateurs est devenue une priorité, une diminution indispensable, en dose comme en fréquence, des applications de pesticides. L'utilisation de variétés résistantes constituerait donc un idéal à atteindre cet objectif, en particulier vis-à-vis de nématodes à kystes de la pomme de terre du genre *Globodera*. Ces variétés réduisent de manière importante ou même totalement la multiplication du parasite. Dans ce cadre, la relation plante-parasite fait l'objet de plusieurs travaux, aussi bien au

laboratoire qu'en conditions naturelles (plein champ). Le présent travail consiste à étudier ce complexe.

II.1.- Objectifs

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de trois variétés de pomme de terre sur la multiplication des nématodes à kystes du genre *Globodera*, entre autre, d'étudier l'incidence de ces nématodes sur les paramètres de croissance et d'avoir une idée sur la variété résistante. Mais aussi, l'étude des caractéristiques des populations de ces parasites (étude morphobiométrique et de savoir le nombre moyen d'œufs par kyste).

II.2.- Matériels et méthodes

II.2.1.- Dispositif expérimental

L'essai a été réalisé dans la ferme pilote de Si Brahim Benbrik localisée dans la commune de Bir Ould Khelifa (Ain Defla). L'expérience est complètement aléatoire avec 3 variétés de pomme de terre (Désirée, Spunta et Kondor) et 4 répétitions, donc 12 parcelles élémentaires d'un hectare de surface. La situation des parcelles étudiées est présentée dans la figure 22.

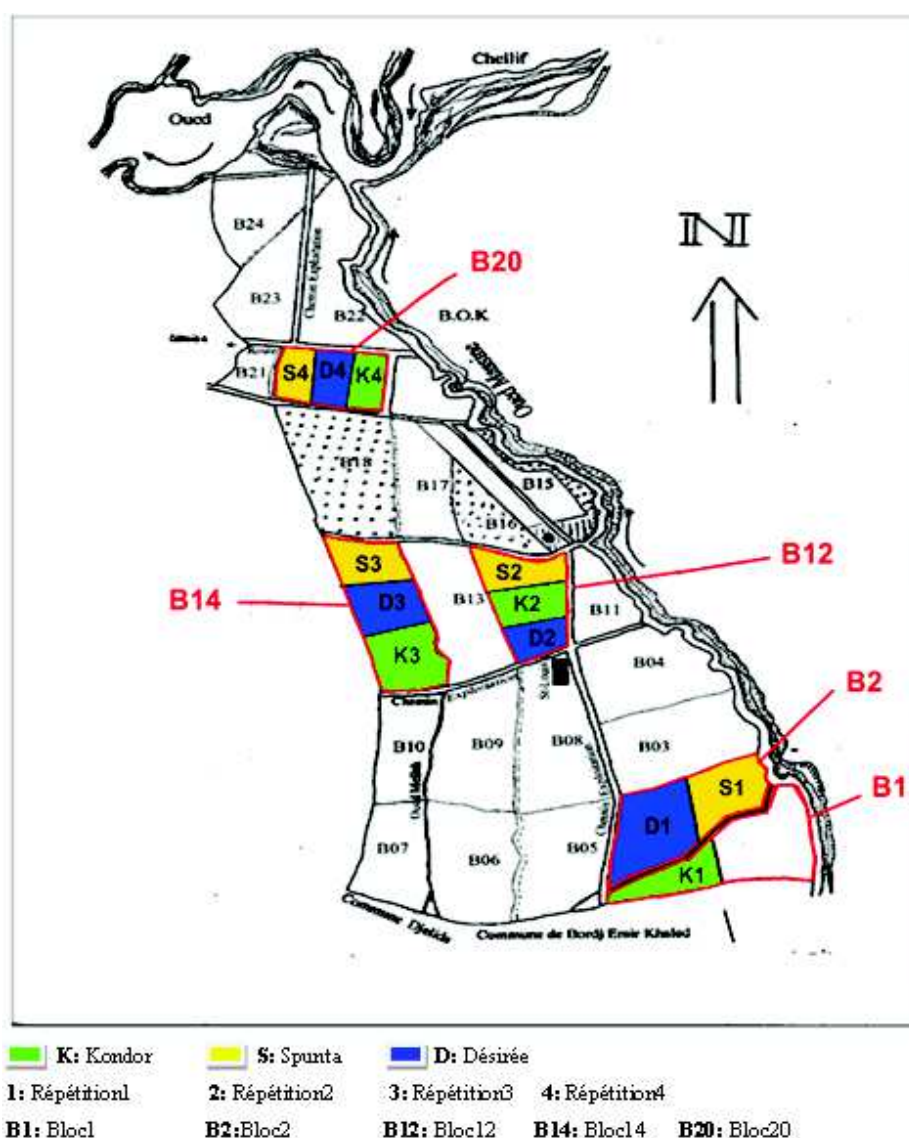


Fig. 22 - Situation des parcelles étudiées sur la carte de la ferme pilote Si Brahim Benbrik.

II.2.2.- Conditions de réalisation

II.2.2.1.- Précédent cultural

Les parcelles utilisées dans notre essai sont cultivées auparavant par différentes cultures. La succession de celles-ci durant les quatre dernières années est mentionnée dans le tableau 4.

Années Parcelles	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2011/2012 (arrière saison)	2012/2013
B1	Jachère	Orge en vert	Blé tendre (Bousselem)	Pomme de terre (Spunta)	Blé dur
B2	Jachère	Blé dur (Chen's)	Blé tendre (Bousselem)	Pomme de terre (Spunta)	Blé dur (Vitron)
B12	Blé tendre	Jachère	Blé dur (Vitron)	Pomme de terre (Spunta)	Blé tendre (Ain Abid)
B14	Blé tendre (Bousselem)	Blé tendre (HD1220)	Blé dur (Chen's)	Pomme de terre (Spunta)	Blé dur (Chen's)
B20	Blé dur (Vitron)	Fourrage sec	Blé tendre (HD1220)	Pomme de terre (Spunta)	Orge en vert

Tableau 4. Les précédents culturaux des parcelles étudiées.

II.2.2.2.- Caractéristiques du sol

L'étude physico-chimique du sol qui a été réalisée par Mokhtar en 2005 montre que le sol est de type limono-argileux et peu compact, faiblement riche en matière organique, n'est pas salin et non alcalinisé (Tableau 1, annexe).

II.2.2.3.- Itinéraires techniques

II.2.2.3.1.- Travail du sol

Le labour profond est effectué en été (Mi juillet-début août 2012) à l'aide d'une charrue à soc, sur une profondeur de 25 à 30 cm. Après, il est suivi par le travail superficiel à l'aide d'un cover-crop (2 ou 3 passages en fonction d'état d'ameublissement du sol) pendant la première quinzaine d'août.

II.2.2.3.2.- Engrais du fond

L'engrais utilisé est le 15-15-15 à raison de 12qx/ha avant la plantation à l'aide d'un épandeur d'engrais.

II.2.2.3.3.- Plantation

Le semis de trois variétés est réalisé avec une planteuse pendant fin d'août-début de septembre à raison de 35qx/ha environ.

II.2.2.3.4.- Désherbage

Il est effectué un mois après la plantation avec un herbicide sélectif.

II.2.2.3.5.- Engrais de couverture

Il est réalisé en deux apports, le premier en Mi-octobre et le deuxième après 15 jours de premier apport avec le Sulfate d'ammonium 21% (4qx/ha).

II.2.2.3.6.- Engrais foliaires

Le premier apport en floraison et le deuxième en début de tubérisation avec la potasse (2qx/ha).

II.2.2.3.7.- Binage

Il est réalisé en fin octobre (dès que les jeunes plantes marquent bien la ligne). Il ameublir et aère le sol en surface et détruit les mauvaises herbes.

II.2.2.3.8.- Buttage

Il est effectué lorsque les touffes ont 20 à 25 cm de hauteur (début novembre) avec la butteuse.

II.2.2.3.9.- Traitement phytosanitaire

Des traitements contre le Mildiou est à base de Milor MZ (matière active c'est Moncozeb) à raison de 2,5 kg/ha.

II.2.2.3.10.- Irrigation

Il est effectué selon les besoins des plants. La culture est irriguée surtout après la plantation et avant la formation des tubercules par aspersion.

II.2.2.3.11.- Récolte

Elle est effectuée manuellement en début de janvier.

II.2.3.- Analyse nématologique

Pour évaluer l'état d'infestation des parcelles de trois variétés de pomme de terre par les nématodes à kystes du genre *Globodera*, on a réalisé une analyse nématologique qui comprend trois étapes : l'échantillonnage du sol puis l'extraction des kystes et enfin la récupération et le comptage des kystes.

II.2.3.1.- Echantillonnage du sol

L'échantillonnage consiste à prélever des quantités de sol dans la zone de la croissance des racines, à des profondeurs allant de 10 à 30 cm, à partir de parcelle de pomme de terre. Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une binette. Ils sont réalisés avec le modèle systématique (en zig-zag) (Fig. 23) (Coyne *et al.*, 2010) qui donne des résultats fiables que le modèle aléatoire. De nombreuses prises élémentaires (19 prises) sont effectuées et rassemblées en un échantillon global à raison de 2 à 2,5 kg par parcelle (un hectare). L'échantillon est alors acheminé au laboratoire dans des sacs en matière plastique. Ce dernier est muni d'une étiquette numérotée indiquant la variété utilisée, la parcelle, la date d'échantillonnage ainsi que toutes les informations susceptibles d'expliquer l'importance de l'infestation par ce genre de nématode.

L'échantillonnage est effectué en deux périodes, l'une en troisième semaine du mois d'août (avant la plantation de pomme de terre) et l'autre en première quinzaine du mois de

janvier (après la récolte), sur toutes les parcelles élémentaires soit 12 échantillons au total pour chacune.

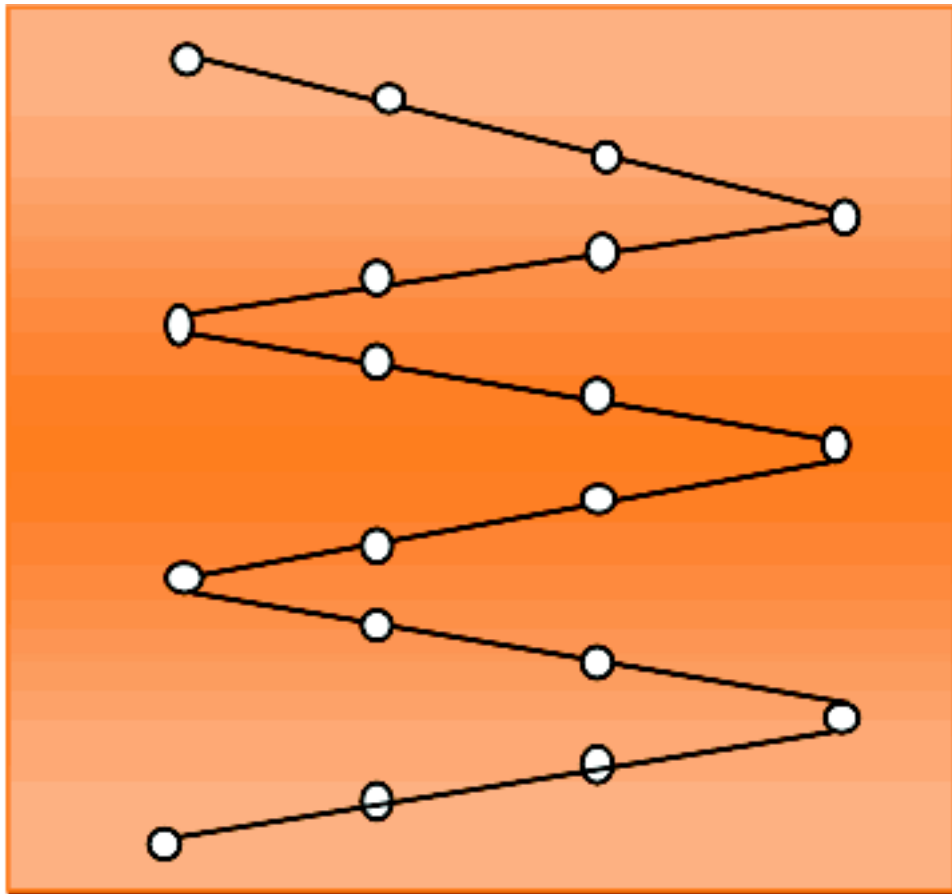


Fig. 23 - Méthode de prélèvement des échantillons élémentaires du sol (en zig-zag).

Ensuite, le sol est mis au séchage à l'ombre, il est étalé sur un journal dans un endroit bien aéré en le retournant de temps à autre pour faciliter l'évaporation progressive de l'humidité. Le séchage dure 3 à 4 jours environ (Fig. 24).



Fig. 24 - Echantillon de sol mis à sécher sur un journal au laboratoire (Original).

Après le séchage, le prélèvement de la prise à analyser est précédé par une élimination des cailloux et des gros débris végétaux, une réduction des mottes, et une homogénéisation du produit. Enfin, le sol séché est pesé à l'aide d'une balance de précision. Nous prenons en considération 1kg par échantillon (Fig. 25).



Fig. 25 - Pesage du sol

(Original).

II.2.3.2.- Extraction des kystes

II.2.3.2.1.- Principe d'extraction

Dans le but de séparer les kystes de *Globodera* des autres matériaux, nous avons utilisé la méthode classique décrite par FENWICK en 1940, qui est basée essentiellement sur le principe de flottaison des kystes (basé sur la densité des kystes par rapport à celle de l'eau). Les kystes pleins de *Globodera* ont une densité qui varie avec leur contenu et leur état d'humidité, l'on retiendra que cette densité est toujours inférieure à 1,18. En revanche, les kystes secs, quelque soit leur contenu, ont une densité inférieure à 1. Ainsi, les kystes pleins et humides sédimentent très vite alors que les kystes secs flottent à la surface de l'eau, ce qui permet de les récupérer. C'est pourquoi, l'opération nécessite un dessèchement préalable du sol contenant les kystes (Nakachia et Jacqemont, 1971).

II.2.3.2.2.- Description de l'appareil de FENWICK

L'appareil de FENWICK est un grand récipient métallique de forme conique (le cône tronqué), plus large à la base qu'à la surface, dont le fond est constitué par un plan oblique, incliné vers un orifice permettant la vidange. A la partie supérieure, est aménagé une déverse qui est munie d'une gouttière périphérique qui oriente l'écoulement quand le récipient déborde. Le sol contenant les kystes est amené à l'intérieur de l'appareil par l'embout d'un entonnoir maintenu au dessus de l'orifice supérieur par trois tiges métalliques (Fig. 26).



Fig. 26 - L'appareil de FENWICK (Original).

1 : La base de récipient. **2 :** Entonnoir à long col. **3 :** La passoire à mailles de 1 mm. **4 :** Récipient en laiton. **5 :** Orifice de sortie. **6 :** Colletterie. **7 :** Support. **8 :** Tamis à 250 µm.

Fig. 26 - L'appareil de FENWICK

(Original).

II.2.3.2.3.- Mode opératoire

Nous avons procédé à l'extraction des kystes par la méthode classique décrite par Fenwick en 1949 (Nakachia et Jacquemont, 1971). Le cône tronqué est rempli préalablement d'eau. La terre à analyser est versée dans une passoire ménagère d'un millimètre de mailles, que l'on emboîte dans l'entonnoir. L'arrivée d'un jet d'eau permet d'éliminer les particules fines, et les kystes qui descendent dans le FENWICK proprement dit, tandis que les gros éléments végétaux et quelques petits cailloux sont retenus dans la passoire. L'impulsion du courant d'eau, entraîne les éléments légers qui flottent tels que les graines de mauvaises herbes, la matière organique et les kystes. De la gouttière, s'écoulent ces derniers sur un tamis de 250 microns. Le fond du FENWICK est aussi tôt vidangé de ses éléments fins.

Le contenu du tamis est nettoyé sous pression d'eau à l'aide d'un jet fin pour éliminer les particules de diamètre inférieur. Il est ensuite récupéré sur papier filtre supporté par un entonnoir par un jet de pissette (Fig. 27).



Fig. 27 - Récupération de l'extrait de tamis

(Original).

II.2.3.3.- Prélèvement et le comptage des kystes

Le filtre et son contenu (kystes et la matière organique) sont alors mis au séchage naturellement à la température ambiante pendant 24 heures environ. Après, nous retirons soigneusement le filtre et nous le mettons dans une boîte de pétri, en ajoutant de l'eau à l'aide d'une pissette. L'examen se fait sous une loupe binoculaire (G 1,6 x 10) et le prélèvement des kystes se fait à l'aide d'un pinceau très fin. Les kystes prélevés sont placés dans une boîte de Pétri tapissée par un papier filtre et porte une étiquette numérotée indiquant : la parcelle, la variété, la date d'échantillonnage, la date d'extraction et la date de prélèvement des kystes (Fig. 28).

Les kystes sont ensuite séparés en kystes vides et kystes pleins. En effet, les kystes pleins sont reconnus grâce à leur aspect turgescent et leur couleur foncée ou parfois claire, alors que les kystes vides sont identifiés par leur couleur claire et l'aspect ridé de la cuticule. De plus, ces derniers se compriment au moindre contact avec le pinceau. Ces kystes sont alors comptés et conservés dans des boîtes de Pétri.

Enfin, le pourcentage des kystes vides et pleins a été calculé ainsi que le degré d'infestation. Ce dernier a été effectué seulement pour les échantillons prélevés après la récolte. Il est exprimé en nombre d'œufs ou de larves infestantes L_2 par gramme de sol (Wolfgang, 1991). Donc, on a écrasé tous les kystes pleins extraits à partir de tous les échantillons prélevés, après on a compté le nombre d'œufs par kyste. En fin, on a fait la somme des œufs de tous les kystes divisé par 1000 (poids d'échantillon est 1kg) pour avoir le nombre de L_2/g de sol.



Fig. 28 - Récupération des kystes sous une loupe binoculaire
(Original).



Fig. 29 - Les kystes de *Globodera* avec la
matière organique (vue sous la loupe; G 1,6 x 10)
(Original).



Fig. 30 - Boîte de Pétri contenant les kystes
(Original).

II.2.4.- Effet du nématode sur les paramètres de croissance de trois variétés de pomme de terre.

Le suivi de l'essai a duré quatre mois environ. En fin de culture, les paramètres de croissance sont pris en considération, pour avoir l'effet de ce parasite sur ceux-ci.

II.2.4.1.- Nombre moyen de tubercules par plant

Dix plants ont été pris dans chaque micro parcelle selon la méthode en zig-zag (Fig. 31) qui est plus fiable que la méthode aléatoire et pour représenter la totalité de superficie, et on a compté le nombre de tubercules que contient chaque plant.

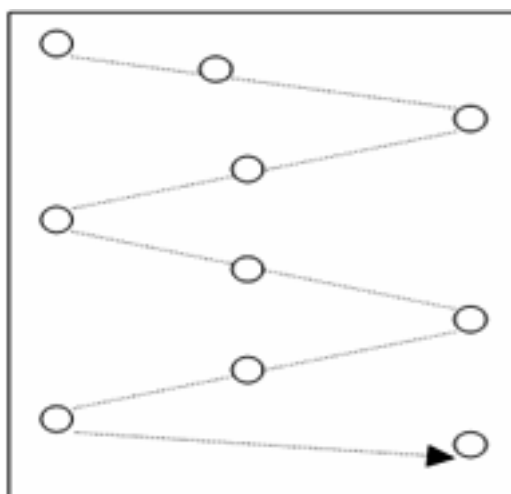


Fig. 31 - Méthodes de prélèvement des plants dans la parcelle élémentaire.

II.2.4.2.- Production moyenne par plant

Après le comptage de tubercules de 10 plants pris de chaque parcelle, on a procédé au pesage à l'aide d'une balance de précision (le poids de l'ensemble de tubercules produits par le plant).

II.2.4.3.- Poids moyen des tubercules

Il est évalué par la division de poids total des tubercules par plant (production /plant) sur leur nombre. Il est effectué sur les 10 plants prélevés de chaque parcelle.

II.2.4.4.- Détermination du rendement en quintaux par hectare

Le rendement est estimé par la formule suivante :

$\text{Rendement} = \text{Production moyenne/plant} \times \text{Nombre de plants/ha}$
--

Sachant que l'espace de plantation est de 75 cm entre les lignes et 25 cm entre les plants et la densité de semis est de 52000 plants/ha.

II.2.5.- Caractéristiques des populations des nématodes à kystes du genre *Globodera*

II.2.5.1.- Etude morphologique des kystes en provenance de parcelles des variétés étudiées

L'étude morphologique des kystes concerne la forme générale, la couleur et la taille. Elle est réalisée par des observations des kystes des différentes populations sous la loupe binoculaire et le microscope optique.

II.2.5.2.- Dénombrement des œufs par kyste de *Globodera* appartenant à deux variétés de pomme de terre (Spunta et Désirée)

L'opération consiste à mettre un kyste plein dans une goutte d'eau et sur une lame, puis il est écrasé à l'aide d'un scalpel. Ensuite sous une loupe binoculaire et avec une épingle on compte les œufs. Cette méthode est effectuée sur 26 kystes de chaque population.

II.2.5.3.- Etude biométrique des kystes appartenant à des parcelles de trois variétés de pomme de terre (Kondor, Spunta et Désirée)

Cette étude commence par le nettoyage des kystes. En effet, on met le kyste dans un verre de montre qui contient de l'alcool puis on le nettoie à l'aide d'un pinceau fin. Sous un microscope optique muni d'un micromètre, on a mesuré la longueur, la largeur et la longueur du cou de chaque kyste (Fig. 32). L'étude biométrique a été effectuée sur trois populations issues de trois variétés de pomme de terre, et pour chaque population il y a 4 lots qui correspondent aux 4 parcelles élémentaires. Un lot est constitué de 30 kystes pris au hasard de l'ensemble des kystes prélevés de la parcelle. Cette étude est d'un grand intérêt car elle permet une identification préliminaire de l'espèce.

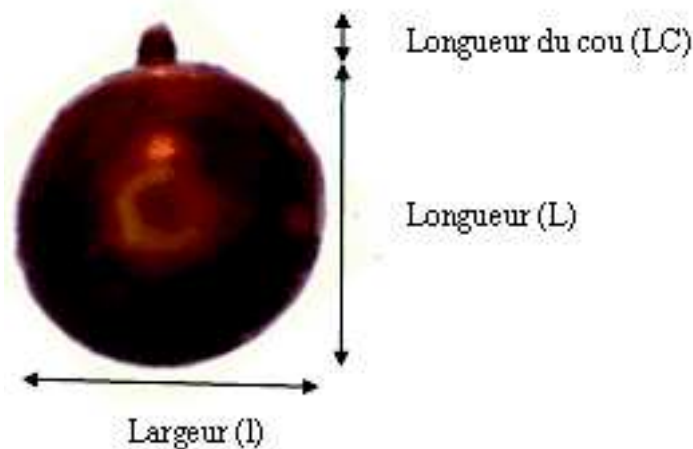


Fig. 32 - Les mensurations effectuées sur les kystes de *Globodera* sp.

II.2.6.- Méthodes d'exploitation des résultats

Deux groupes de variables ont été pris en considération dans notre étude : il s'agit des variables considérées sur la plante hôte (les paramètres de croissance) et des variables liées au parasite (l'état d'infestation) afin de rechercher le lien entre les deux.

Le deuxième aspect de l'analyse porte sur l'étude des caractéristiques des populations des nématodes *Globodera*. Les variables prises en considération sont le nombre d'œufs/kyste et la biométrie des kystes.

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

II.2.6.1.- Analyse descriptive

Il s'agit d'un ensemble de méthodes permettant de décrire les unités statistiques qui composent une population. Elle a essentiellement pour but de dégager un certain nombre de renseignements quantitatifs et qualitatifs pour une comparaison. Cette analyse a concerné le calcul des moyennes, des écarts types, et de coefficient de variation. Ceux-ci ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel.

II.2.6.2.- Analyse fréquentielle

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

II.2.6.3.- Régression et corrélation

Selon Chakali (2006), l'analyse des régressions, est l'une des méthodes statistiques les plus utilisées dans plusieurs domaines. Son objectif est double, il consiste tout d'abord à décrire les relations entre une variable privilégiée, appelée variable expliquée (ou dépendante), et plusieurs variables jouant un même rôle par rapport à la première, appelées variables explicatives (ou indépendantes). Elle permet aussi d'effectuer des prévisions de la variable expliquée en fonction des variables explicatives. L'analyse des régressions et les corrélations nous a permis de déduire des équations des calculs de variable expliquée et d'établir la relation entre la variable expliquée et la variable explicative. Le coefficient de détermination R^2 calculé, représentant la mesure de la proportion de la variable explicative par la variable à expliquer, évalue le degré d'association entre les deux variables et permet de juger la qualité de l'ajustement des points par la droite de régression. Les probabilités sont calculées pour chaque cas pour évaluer les degrés de signification. Un nuage de points est produit par ces deux variables. L'étude des régressions a été effectuée à l'aide du logiciel Excel.

II.2.6.4.- Analyse de la variance (ANOVA)

Le but recherché de cette méthode d'analyse est de comparer la signification entre les moyennes. Des analyses à un facteur ont été effectuées pour tester des facteurs contrôlés ayant des modalités sur les moyennes d'une variable quantitative (Chakali, 2006). Toutes les analyses de variance ont été effectuées avec le logiciel Statistica.

II.2.6.5.- Analyse en composantes principales (ACP)

C'est une méthode d'analyse des données multivariées qui cherche à identifier les axes principaux qui expliquent le mieux les corrélations entre les variables descriptives. Elle cherche à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant les individus et les variables quantitatives. Produire un résumé d'information au sens de l'ACP, c'est établir une similarité entre les individus, chercher des groupes d'individus homogènes et mettre en évidence une typologie d'individus. Quant aux variables, c'est mettre en évidence des bilans de liaisons entre elles, moyennant des variables synthétiques et faire ressortir une typologie de variable. L'ACP cherche d'une façon générale à établir des liaisons entre ces deux typologies (Legendre et Legendre, 1984). Cette analyse permet dans des cas où il est impossible de se ramener à un tableau de contingence, de disposer d'un graphique à deux dimensions d'analyse factorielle (Delagarde, 1983). L'interprétation de l'ACP se fait à partir de l'examen du cercle des corrélations et de la position du statut des variables les axes factoriels. Cette analyse a été réalisée par le logiciel Statistica.

II.2.6.6.- Classification hiérarchique des variables

L'arbre de la classification hiérarchique est représenté par un graphique linéaire avec des distances d'agrégation. L'objectif de cet algorithme est de rassembler des objets dans des classes de plus en plus large, en utilisant certaines mesures de similarités ou distances Euclidiennes (Chakali, 2006). Ce test a été réalisé par le logiciel Statistica.

II.2.6.7.- Analyse croisée

Le type de tracé proposé place une boîte de 50% de variation autour du point central, représentant la médiane ainsi que des étendues de variation de 50% en haut et en bas de la boîte.

Dans les tracés des boîtes proposées dans l'analyse croisée, les étendues des valeurs d'une variable sélectionnées sont tracées séparément. La tendance centrale qui est la médiane et la dispersion statistique sont calculées pour chaque type d'observation et les valeurs sont présentées dans le style type graphique. La principale raison d'employer la médiane pour décrire la tendance centrale des données, c'est qu'elle permet de minimiser l'effet des valeurs extrêmes, soit extrêmement élevées, soit extrêmement faibles (Chakali, 2006). Cette analyse a été réalisée par le logiciel Statistica.

II.3.- Résultats et discussion

II.3.1.- Résultats

II.3.1.1.- Analyse nématologique

II.3.1.1.1.- Importance du nombre de kystes trouvés chez les trois variétés de pomme de terre

Les résultats d'analyse nématologique des échantillons de sol de trois variétés sont consignés dans les tableaux 5 et 6.

Echantillon	Variété	Répétition	Date d'échantillo nnage	Date d'extraction	Date de récupération des kystes	Poids du sol (kg)	K.V	K.P	K.T	% K.V	% K.P
1	Kondor	R1	15/08/2012	24/09/2012	25/09/2012	1	246	11	257	95,71	4,29
2		R2	18/08/2012	24/09/2012	25/09/2012	1	157	9	166	94,57	5,43
3		R3	18/08/2012	24/09/2012	12/09/2012	1	81	3	84	96,42	3,58
4		R4	20/08/2012	24/09/2012	29/01/2012	1	45	3	48	93,75	6,25
5	Spunta	R1	15/08/2012	24/09/2012	25/09/2012	1	56	1	57	98,24	1,76
6		R2	18/08/2012	24/09/2012	29/09/2012	1	133	2	135	98,51	1,49
7		R3	18/08/2012	24/09/2012	27/09/2012	1	213	2	215	99,06	0,94
8		R4	20/08/2012	24/09/2012	25/09/2012	1	76	6	82	92,68	7,32
9	Désirée	R1	15/08/2012	24/09/2012	27/01/2012	1	277	6	283	97,87	2,13
10		R2	18/08/2012	24/09/2012	28/09/2012	1	83	1	84	98,80	1,20
11		R3	18/08/2012	24/09/2012	28/09/2012	1	119	6	125	95,20	4,80
12		R4	20/08/2012	24/09/2012	27/09/2012	1	236	10	246	95,93	4,07
Total						12kg	1722	60	1782	96,63	3,37

Tableau 5. Importance du nombre de kystes trouvés chez les trois variétés avant la plantation.

Echantillon	Variété	Répétition	Date d'échantillo nnage	Date d'extraction	Date de récupération des kystes	Poids du sol (kg)	K.V	K.P	K.T	% K.V	% K.P	Degré d'infestation (L /g de sol)
1	Kondor	R1	05/01/2013	10/01/2013	11/01/2013	1	287	1	288	99,65	0,35	0,190
2		R2	05/01/2013	10/01/2013	11/01/2013	1	183	0	183	100	0	0
3		R3	07/01/2013	10/01/2013	12/01/2013	1	105	0	105	100	0	0
4		R4	15/01/2013	18/01/2013	29/01/2013	1	58	1	59	98,30	1,70	0,200
5	Spunta	R1	05/01/2013	10/01/2013	13/01/2013	1	61	8	69	88,40	11,60	2,372
6		R2	05/01/2013	10/01/2013	13/01/2013	1	142	2	144	98,61	1,39	1,007
7		R3	07/01/2013	10/01/2013	30/01/2013	1	233	3	236	98,72	1,28	1,057
8		R4	15/01/2013	18/01/2013	28/01/2013	1	93	13	106	87,73	12,27	5,117
9	Désirée	R1	05/01/2013	10/01/2013	14/01/2013	1	290	28	318	91,19	8,81	13,058
10		R2	05/01/2013	10/01/2013	16/01/2013	1	304	16	320	95,00	5,00	8,030
11		R3	07/01/2013	10/01/2013	19/01/2013	1	138	8	146	94,52	5,48	4,014
12		R4	15/01/2013	18/01/2013	27/01/2013	1	261	34	295	88,47	11,53	15,039
Total						12kg	2155	114	2269	94,97	5,03	50,08

Tableau 6. Importance du nombre de kystes trouvés chez les trois variétés en fin de culture (après la récolte).

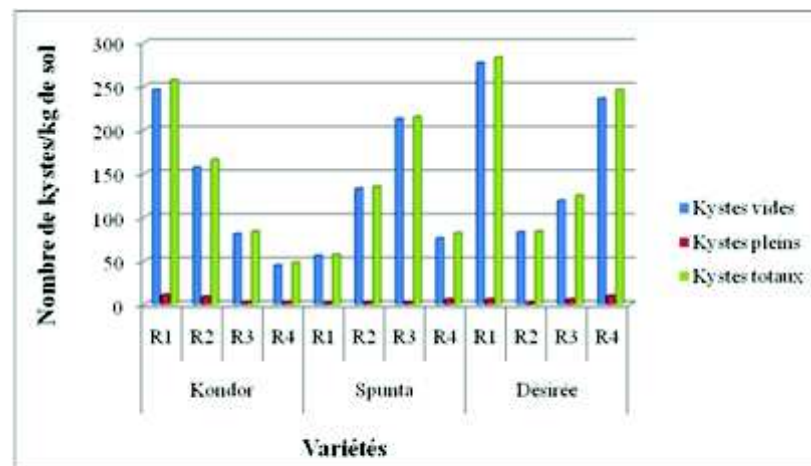
Le nématode doré de la pomme de terre a été mis en évidence dans toutes les parcelles étudiées pour les trois variétés, soit avant la plantation ou après la récolte. L'infestation varie d'une parcelle à une autre voire d'une variété à l'autre.

Les résultats d'analyse du sol avant la plantation montrent que les kystes vides sont très abondants, ils varient de 45 à 277 kystes/kg de sol respectivement pour la parcelle R4 de la variété Kondor et R1 de Désirée. On a remarqué aussi que le nombre de kystes pleins est toujours inférieur au nombre de kystes vides, il varie d'un kyste/kg de sol (dans la parcelle R1 de Spunta et R2 de Désirée) à 11 kystes/kg de sol (dans la parcelle R1 de Kondor). Mais aussi le nombre total des kystes est variable, allant de 48 à 283 kystes/kg de sol pour R4 de Kondor et R1 de Désirée respectivement.

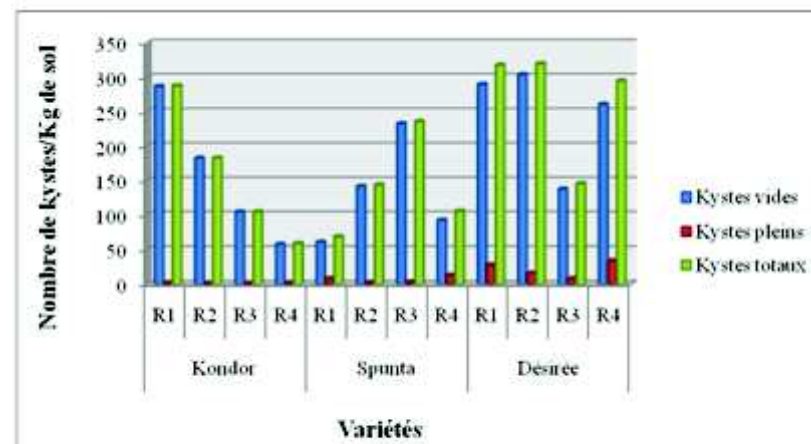
Cependant, l'analyse des échantillons après la récolte révèle que la parcelle R2 de Désirée présente une forte densité des kystes vides qui est de l'ordre de 304 kystes/kg de sol. Tandis que, une faible densité est estimée dans R4 de Kondor (59 kystes/kg de sol). Pour les kystes pleins, le plus grand nombre est trouvé dans R4 de la Désirée avec 34 kystes/kg de sol. Par contre, un petit nombre est recensé dans R1 et R4 de Kondor (1 kyste/kg de sol). Concernant le nombre total des kystes, on a enregistré un nombre important dans R2 de la Désirée (320 kystes/kg de sol) et un nombre faible dans R4 de Kondor (59 kystes/kg de sol).

Le pourcentage des kystes vides est largement supérieur à celui des kystes pleins. Pour la période avant la plantation, le pourcentage des kystes vides varie de 92,68 à 99,06% et de 0,94 à 7,32% pour les kystes pleins. Par contre, après la récolte on a constaté que le pourcentage des kystes vides est systématique (100%) dans R2 et R3 de la variété Kondor. Il varie de 87,73 à 99,65% dans les autres parcelles. Cependant le pourcentage des kystes pleins, il est faible par rapport au précédent. Il est nul (0%) dans les parcelles R2 et R3 de Kondor. Il est différent dans d'autres parcelles, le plus important est estimé chez R4 de la variété Spunta avec 12,27% et le moins important est enregistré chez R1 de Kondor avec 0,35%.

Le degré d'infestation a été calculé seulement pour les échantillons prélevés après la récolte. Il est variable d'une parcelle à une autre, au sein d'une même variété et entre les variétés, dépassant ainsi le seuil de nuisibilité qui est fixé à 10 L_2/g de sol par Mugniéry (1975) cité par Mazouz (2011) dans la R1 et R4 de la variété Désirée. Une forte infestation (15,03 L_2/g de sol) a été enregistrée dans R4 de Désirée et une faible infestation a été constatée dans R2 de Spunta avec 1,007 L_2/g de sol.

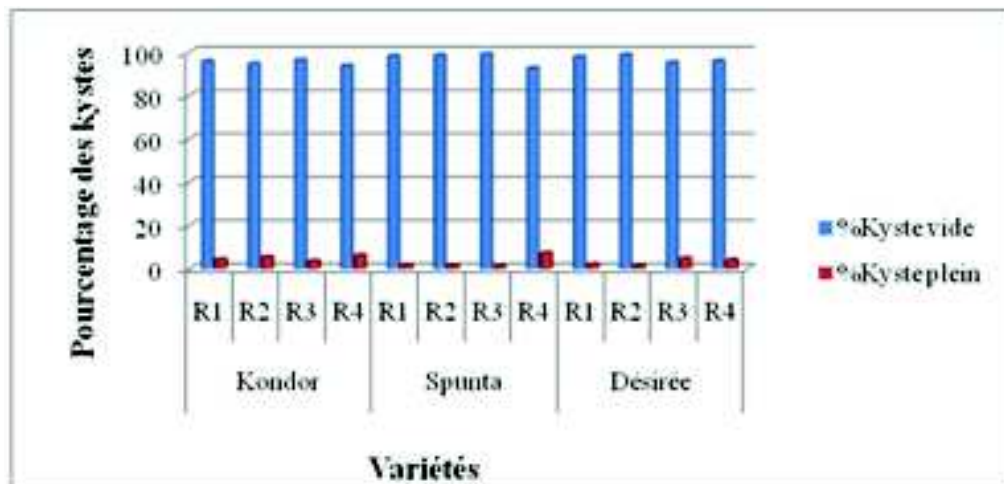


a - Avant la plantation.

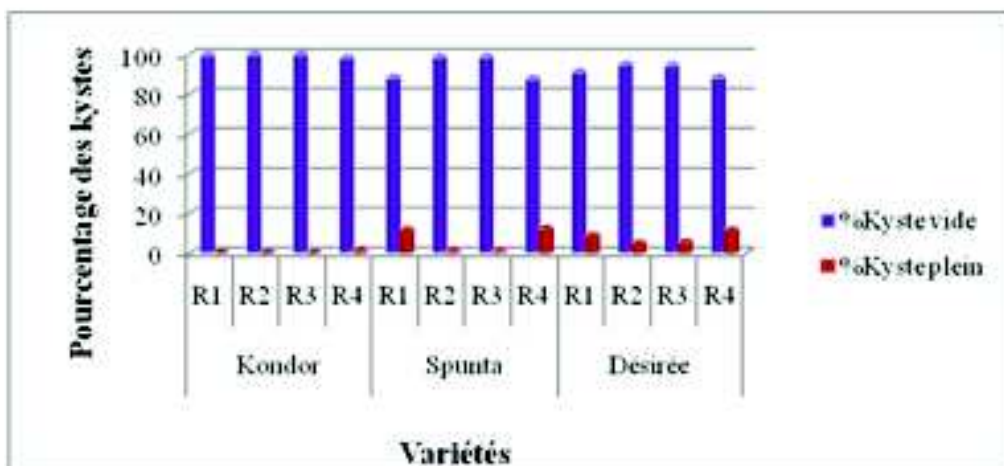


B- Après la récolte.

Fig. 33 - Importance des kystes de *Globodera* dans trois variétés de pomme de terre.



a - Avant la plantation.



b - Après la récolte.

Fig. 34 - Pourcentage des kystes de *Globodera* dans trois variétés de pomme de terre.

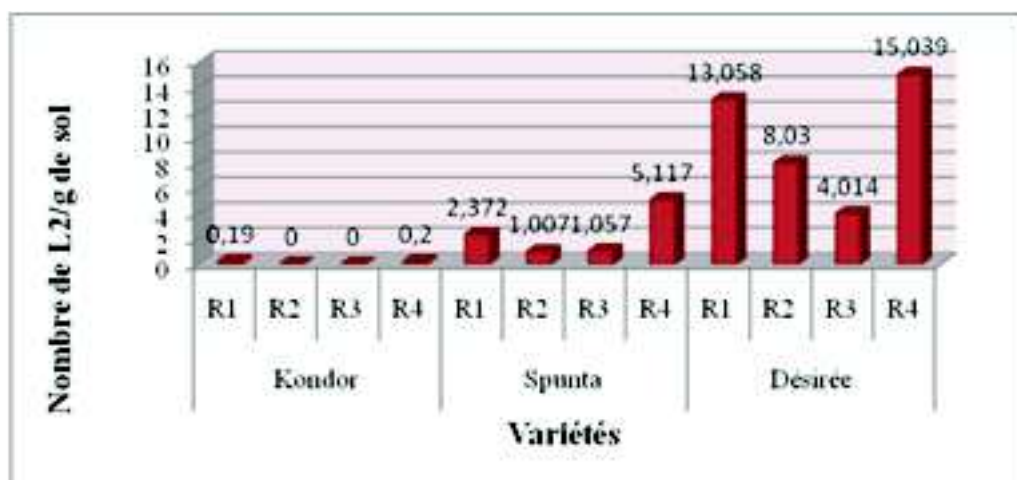


Fig. 35 - Importance d'infestation des *Globodera* dans les parcelles de trois variétés de pomme de terre pour la période après la récolte.

II.3.1.1.2.- Effet de trois variétés de pomme de terre sur la multiplication des nématodes à kystes du genre *Globodera*

II.3.1.1.2.1.- Evaluation du taux de multiplication

Le suivi de l'évolution des populations de *Globodera* dans les parcelles prospectées durant la période avant la plantation et après la récolte, est pour but d'évaluer leur taux de multiplication. Ce taux est calculé selon la densité (kystes pleins/kg de sol) de la population finale par rapport à la densité de la population initiale.

Taux de multiplication = D_{pf} / D_{pi}
--

D_{pf} : Densité de la population finale (après la récolte).

D_{pi} : Densité de la population initiale (avant la plantation).

La densité de la population initiale et finale de ce nématode et leur taux de multiplication sont portés dans le tableau 7 et illustrés dans les figures 36 et 37.

Tableau 7. La densité de la population initiale et finale et le taux de multiplication des *Globodera* sur les variétés étudiées.

Variété	Densité de la population initiale (D _{pi})	Densité de la population finale (D _{pf})	Taux de multiplication (D _{pf} /D _{pi})
Kondor	6,5	0,5	0,0769
Spunta	2,75	6,5	2,36
Désirée	5,75	21,5	3,73

L'analyse nématologique dans les parcelles de trois variétés de pomme de terre, montre une différence au niveau de la population initiale et finale des *Globodera*, qui correspond à la période avant la plantation et après la récolte. En effet, il y a une diminution du nombre de kystes pleins /kg de sol dans les parcelles de la variété Kondor (de 6,5 vers 0,5 kystes) et une élévation dans les parcelles de la variété Spunta (de 2,75 vers 6,5 kystes). De même, la population est augmentée dans les parcelles de la variété Désirée, mais cette augmentation est importante par rapport à la précédente (de 5,75 vers 21,5 kystes).

En ce qui concerne le taux de multiplication de ce nématode chez les trois variétés étudiées, nous avons constaté qu'il est plus important chez la Désirée (3,73) et moins important chez Spunta (2,36). Par contre, il est faible chez la variété Kondor (0,07). Cela veut dire que les variétés Désirée et Spunta sont des variétés multiplicatrices pour ce parasite. Nous pouvons confirmer ces résultats par l'analyse de la variance pour chercher les valeurs significatives.

Tableau 8. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur la variation du nombre de kystes pleins entre la période avant la plantation et après la récolte.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Kyste plein (Kondor)	72,000	1	72,000	52,00	6	8,667	8,307692	0,027973*
Kyste plein (Spunta)	28,1250	1	28,1250	91,75	6	15,292	1,839237	0,223853
Kyste plein (Désirée)	496,13	1	496,13	451,75	6	75,292	6,589375	0,042508*

Sur la base des résultats de l'analyse de la variance présentés dans le tableau 8, il apparaît clairement qu'il existe une différence significative dans l'évolution du nombre de kystes pleins entre la période avant la plantation et après la récolte pour la variété Kondor et Désirée avec des probabilités respectives de 0,027973 et de 0,042508. Tandis que, la différence est non significative pour la variété Spunta ($p=0,223853>0,05$). Cela nous a permis de dire que les variétés Kondor et Désirée jouent un rôle sur l'évolution des kystes, mais la variété Spunta ne présente aucun rôle sur cette variable.

Tableau 9. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur le taux de multiplication des *Globodera*.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Taux de multiplication	77,94762	2	38,97381	161,8011	9	17,97790	2,167874	0,170417

Les résultats de l'analyse de la variance de l'effet de la variété sur le taux de multiplication de nématode doré de la pomme de terre, montrent une différence non significative ($p=0,170417>0,05$).

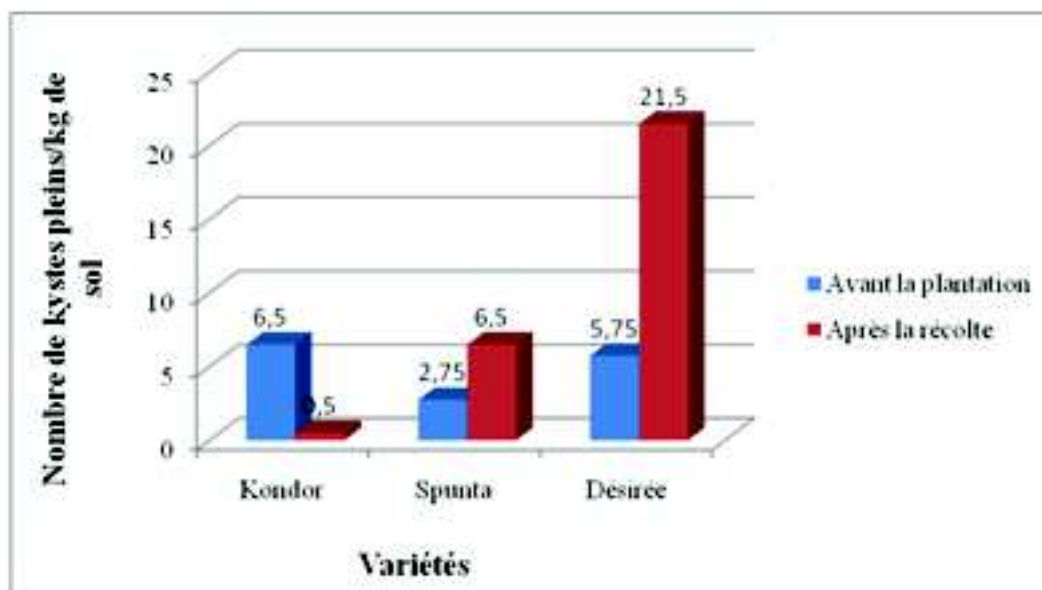


Fig. 36 - Comparaison du taux d'infestation des variétés étudiées par les *Globodera* entre la période avant la plantation et après la récolte.

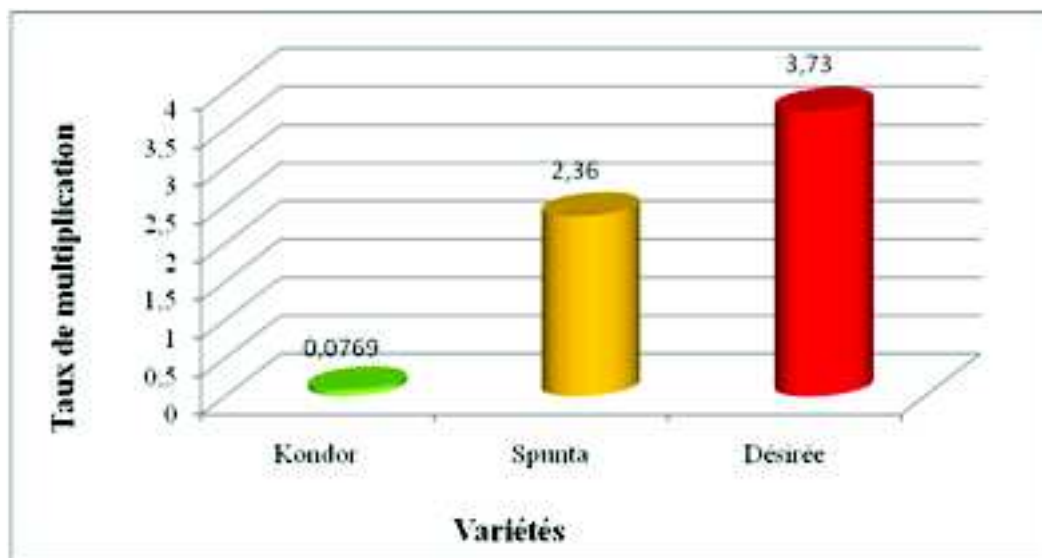


Fig. 37 - Taux de multiplication des *Globoderachez* trois variétés de pomme de terre.

II.3.1.1.2.2.- Sensibilité relative

La sensibilité relative des variétés de pomme de terre testées doit être déterminée et exprimée en pourcentage conformément à la formule:

$$\text{Sensibilité relative} = \frac{D_{pf}(\text{variété testée})}{D_{pf}(\text{variété de contrôle sensible standard})} \times 100$$

D_{pf} : Densité de la population finale de la variété testée.

D_{pi} : Densité de la population finale de la variété de contrôle sensible standard (témoin).

La variété Désirée c'est une variété sensible au nématode doré de la pomme de terre et qui met en évidence par plusieurs auteurs (Evans, 1993 ; Nugaliyadde et Perera, 1994 ; Ziouani et Boukhelifa, 1994 ; Belhadj Ben Yahia, 2007 et Hlaoua *et al.*, 2010) et selon OEPP/EPPO (2006), la Désirée doit être utilisée comme variété de contrôle sensible standard dans chaque test. De même, elle est utilisée comme un témoin sans résistance à *Globodera pallida* par Fournet *et al.* en 2011. En conséquence, nous pouvons considérer la variété Désirée comme un témoin dans notre étude et les deux autres variétés (Spunta et Kondor) comme des variétés testées.

Pour évaluer la sensibilité de ces variétés en utilisant les notations standards établies par OEPP/EPPO (2006) (tableau 10).

Tableau 10. Notations standards (OEPP/EPPO, 2006).

Sensibilité relative	Notes
<1	9
1,1-3	8
3,1-5	7
5,1-10	6
10,1-15	5
15,1-25	4
25,1-50	3
50,1-100	2
>100	1

Une note de **9** indique le niveau de résistance maximum.

Donc, la sensibilité relative de la variété Kondor et Spunta par rapport à la variété de contrôle sensible (Désirée) a été calculée selon la formule précédente et représentée dans le tableau 11.

Tableau 11. La sensibilité relative des variétés de pomme de terre testées.

Variété	Densité de la population finale de la variété testée (kystes pleins/kg de sol)	Densité de la population finale de témoin (Désirée) (kystes pleins/kg de sol)	Sensibilité relative (%)	Degré de sensibilité
Kondor	0,5	21,5	2,32	8
Spunta	6,5	21,5	30,23	3

En comparant le degré de sensibilité de deux variétés étudiées, nous avons constaté que la variété Spunta est la plus sensible que la variété Kondor, avec un degré de sensibilité de 3 et de 8 respectivement. C'est-à-dire la variété Spunta a permis à ce parasite de développer plus de femelles par rapport à la variété Kondor.

II.3.1.1.2.3.- Comparaison du nombre de kystes vides de *Globodera* dans les parcelles de trois variétés étudiées

Les résultats obtenus sur les kystes vides de ce nématode dans chaque parcelle des variétés étudiées sont consignés dans le tableau 12 et illustrés dans la figure 38.

Tableau 12. La comparaison du nombre de kystes vides dans les parcelles des variétés testées.

Variété	Nombre de kystes vides/kg de sol (avant la plantation)	Nombre de kystes vides/kg de sol (après la récolte)
Kondor	132,25	158,25
Spunta	119,5	132,25
Désirée	178,75	248,25

L'analyse nématologique des échantillons du sol prélevés, révèle une augmentation du nombre de kystes vides/kg de sol dans toutes les parcelles entre la période avant la plantation et après la récolte. En effet, il passe en moyenne de 132,25 à 158,25 kystes dans les parcelles de la variété Kondor, de 119,5 à 132,25 kystes dans les parcelles de la variété Spunta et de 178,75 à 248,25 kystes pour la variété Désirée. L'analyse de la variance est avérée intéressante afin d'étudier cette variation.

Tableau 13. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur la variation du nombre de kystes vides entre la période avant la plantation et après la récolte.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Kyste vide (Kondor)	1352,000	1	1352,000	53865,50	6	8977,583	0,150597	0,711360
Kyste vide (Spunta)	325,1250	1	325,1250	31711,75	6	5285,292	0,061515	0,812387
Kyste vide (Désirée)	9660,50	1	9660,50	42837,50	6	7139,583	1,353090	0,288904

L'analyse de la variance concernant l'effet de la variété sur la variation du nombre de kystes vides entre deux périodes d'analyse (avant la plantation et après la récolte), montre une différence non significative pour toutes les variétés testées.

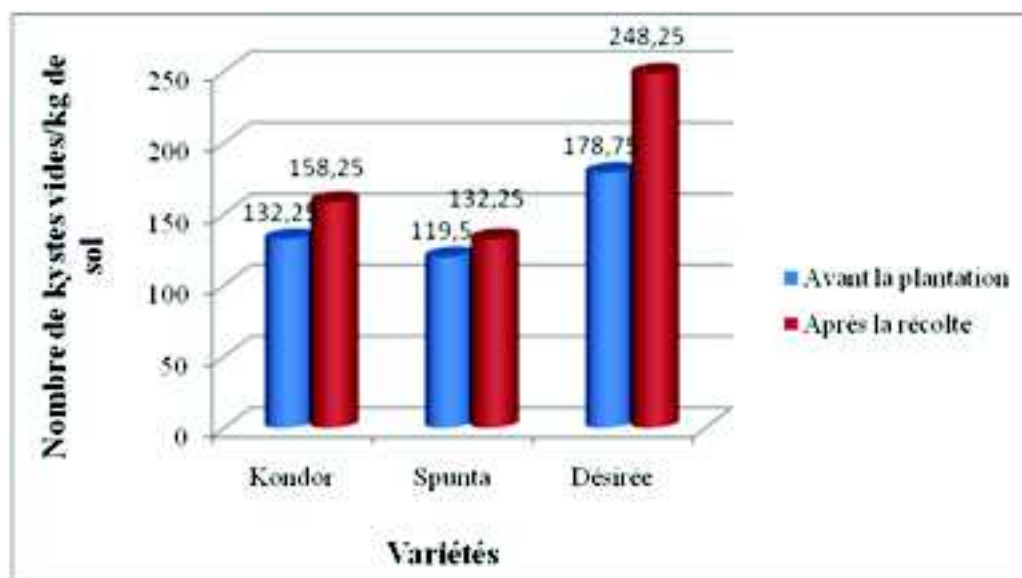


Fig. 38 - Comparaison du nombre de kystes vides de *Globodera* chez trois variétés de pomme de terre entre la période avant la plantation et après la récolte.

II.3.1.1.3.- Exploitation des résultats d'analyse nématologique des échantillons prélevés après la récolte

II.3.1.1.3.1.- Analyse descriptive des variables étudiées

Les résultats d'analyse nématologique de l'état d'infestation des nématodes à kystes du genre *Globodera* sur trois variétés de pomme de terre (Kondor, Spunta et Désirée) sont portés dans le tableau 14.

Tableau 14. Analyse descriptive des paramètres étudiés.

Variable	Variété	Effectif	Moyenne	Valeurs extrêmes	
				Minimum	Maximum
Nombre de kystes vides/kg de sol	Kondor	4	158,25±100,12	58	287
	Spunta	4	132,25±74,97	93	233
	Désirée	4	248,25±75,64	138	304
Nombre de kystes pleins/kg de sol	Kondor	4	0,5±0,57	0	1
	Spunta	4	6,5±5,06	2	13
	Désirée	4	21,5±11,70	8	34
Nombre total de kystes/kg de sol	Kondor	4	158,75±100,22	59	288
	Spunta	4	138,75±71,70	69	236
	Désirée	4	269,75±83,27	146	320
Degré de l'infestation (L ₂ /g de sol)	Kondor	4	0,09±0,11	0	0,2
	Spunta	4	2,38±1,92	1	5,11
	Désirée	4	10,03±4,98	4,01	15,03

L'analyse descriptive de calculs des moyennes des variables étudiées qui sont portés dans le tableau 14, a révélé une différence entre les variétés. En effet, les moyennes du nombre des kystes vides/kg de sol varient de 132,25 à 248,25 kystes, avec des écart-types allant de 74,97 à 75,64 respectivement pour la variété Spunta et Désirée. De même, les kystes pleins ayant un moyen compris entre 0,6±0,57 (pour la variété Kondor) et 21,5±11,70 (pour la variété Désirée). Toutefois, les moyennes du nombre total des kystes sont comprises entre 138,75±71,70 et 269,75±83,27 chez la variété Spunta et Désirée respectivement.

Le degré d'infestation de trois variétés de pomme de terre par les nématodes à kystes du genre *Globodera* présenté par la figure 40 met en évidence trois catégories. La première est la plus infestée qui est représentée par la variété Désirée avec une valeur de 10,03±4,98 L₂/g de sol, soit la seconde catégorie la moins infestée (2,38±1,92 L₂/g de sol) qui est figurée par la variété Spunta. La dernière catégorie est faiblement infestée (0,09±0,11 L₂/g de sol) où se trouve la variété Kondor. L'écart-type calculé pour les trois variétés reste élevé dépassant même la valeur de la moyenne à la variété Kondor qui s'explique par la variabilité de degré d'infestation. Cette dernière diffère d'une parcelle à une autre et dépend essentiellement de la densité des kystes pleins et la fécondité de la femelle.

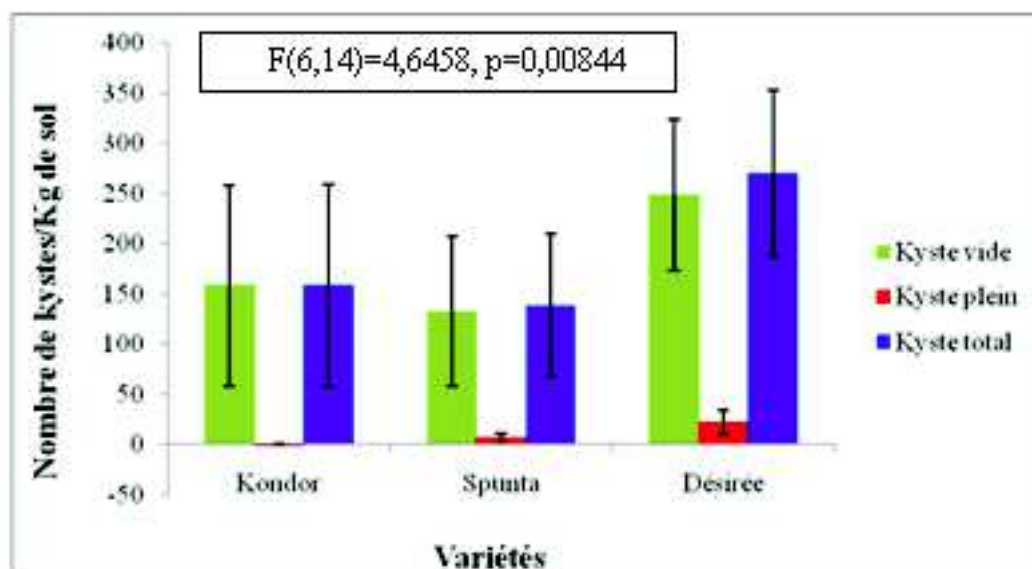


Fig. 39 - Nombre moyen de kystes des *Globodera* chez trois variétés de pomme de terre.

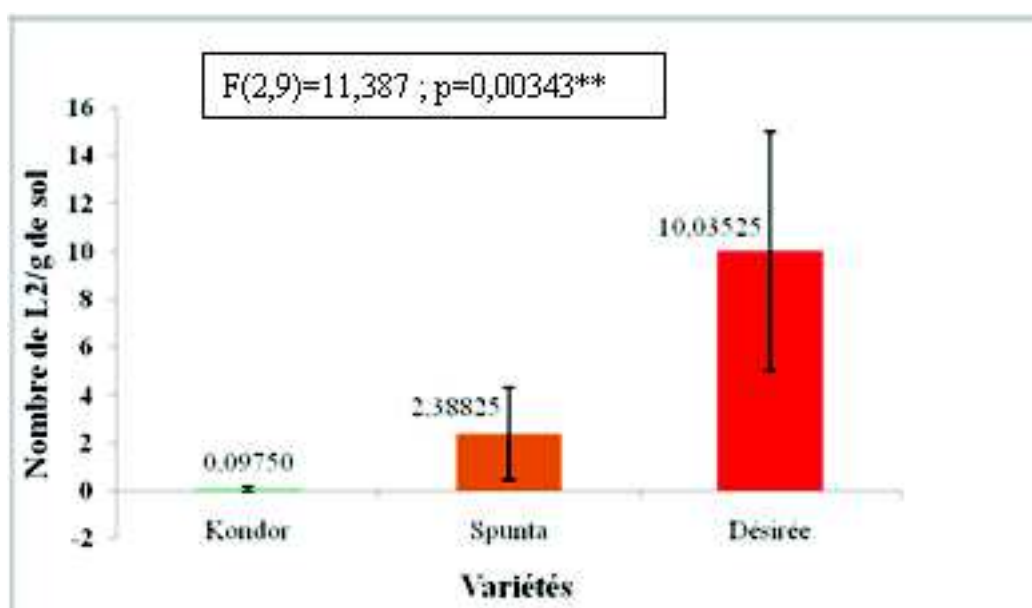


Fig. 40 - Degré d'infestation moyen de trois variétés de pomme de terre par les *Globodera*.

II.3.1.1.3.2.- Analyse de la variance des variables étudiées

L'analyse nématologique montre des valeurs différentes entre les échantillons analysés concernant les paramètres étudiés (tableau 6). Ceci a été confirmé par l'analyse de la variance (ANOVA). Le traitement statistique des résultats de l'analyse nématologique ayant donné les résultats mentionnés dans le tableau 15.

Tableau 15. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur les variables considérées.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Kyste vide	29642,67	2	14821,33	64106,25	9	7122,91	2,0808	0,180802
Kyste plein	936,00	2	468,00	489,00	9	54,33	8,6135	0,008123**
Kyste total	39842,67	2	19921,33	66360,25	9	7373,36	2,7018	0,120496
Degré de l'infestation	216,64	2	108,32	85,62	9	9,51	11,3869	0,003426**

Les résultats de l'analyse de la variance des variables étudiées, montrent que la différence du nombre de kystes vides et le nombre total de kystes/kg de sol entre les variétés est non significative avec des probabilités de 0,180802 et de 0,120496 respectivement pour la première et la deuxième variable. Donc les trois variétés sont semblables vis-à-vis de ces variables. Par contre, les probabilités $p=0,008123$ et $p=0,003426$ sont inférieures à 0,01, ce qui implique qu'il y a une différence hautement significative entre les variétés concernant le nombre de kystes pleins/kg de sol et le nombre de L_2/g de sol respectivement. Donc la variété de l'hôte joue un rôle sur ces deux paramètres.

Test de Newman-Keuls

L'analyse de la variance a été complétée par le test de Newman-Keuls dont le but de comparer les moyennes. Les résultats du test sont consignés dans les tableaux 17 et 18.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 54,333 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Kondor	0,50	*****	
2	Spunta	6,50	*****	
3	Désirée	21,50		*****

Tableau 16. Résultats du test de Newman-Keuls sur le nombre des kystes pleins/kg de sol.

Le test de Newman-Keuls au seuil 5% (tableau 16) concernant la variable nombre de kystes pleins/kg de sol laisse apparaître deux groupes homogènes. Le premier inclut deux variétés. Soit Kondor avec une moyenne de 0,5 et Spunta avec 6,5 kystes, le second concerne la variété Désirée qui présente un nombre moyen de 21,5 kystes.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 9,5128 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Kondor	0,09750	*****	
2	Spunta	2,38825	*****	
3	Désirée	10,03525		*****

Tableau 17. Résultats du test de Newman-Keuls sur le degré d'infestation (nombre de larves L_2/g de sol).

Le test de Newman-Keuls montre l'existence de deux groupes homogènes concernant la variable degré de l'infestation. Le premier regroupe deux variétés c'est Kondor avec une moyenne de 0,09 et Spunta avec 2,38 L₂/g de sol. Le second inclut la Désirée avec une moyenne importante de l'ordre de 10,03 L₂/g de sol.

On remarque que la variété Désirée présente une moyenne importante du nombre de kystes pleins/kg de sol et de larves L₂/g de sol, qui peut s'expliquer par sa sensibilité vis-à-vis de ce nématode.

II.3.1.1.3.3.- Analyse croisée

Les calculs de statistiques descriptives détaillées sont effectués par l'analyse croisée pour tirer des informations sur la relation entre le nombre de kystes pleins et la variété et entre le nombre de larves L₂/g de sol et la variété utilisée. Les rapports des analyses croisées sont illustrés dans les figures 41 et 42.

Relation entre le nombre de kystes pleins et la variété utilisée

L'analyse croisée du nombre de kystes pleins /kg de sol en fonction des variétés, représentée par la figure 41, montre une différence hautement significative ($p=0,008123 < 0,01$).

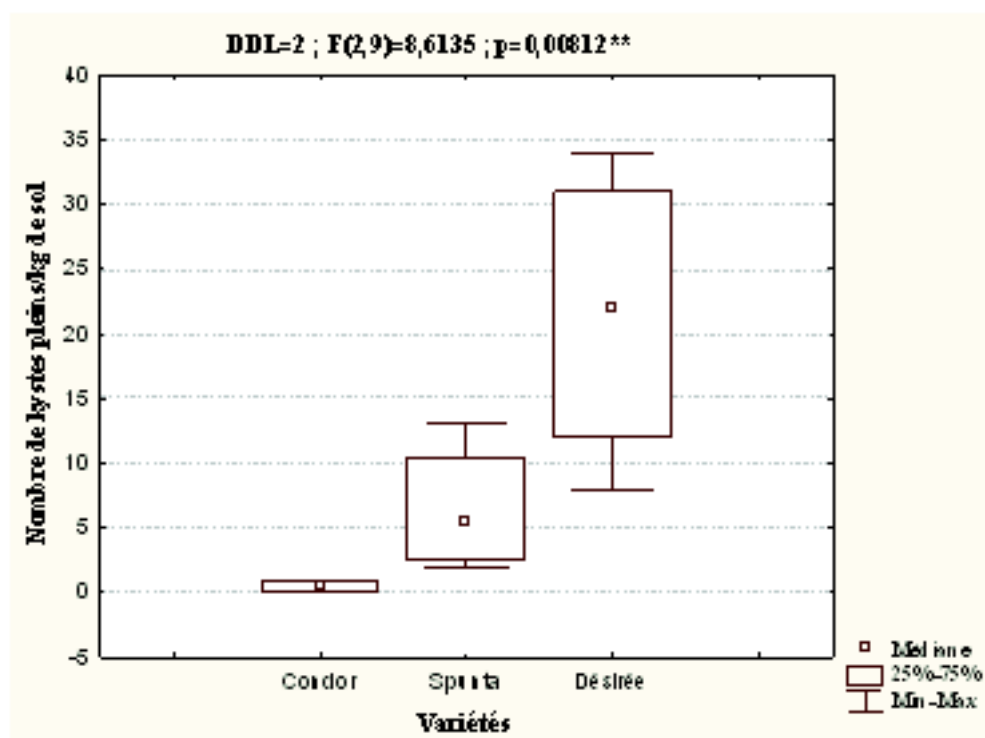


Fig. 41 - Distribution du nombre de kystes pleins des *Globodera* en fonction des variétés de pomme de terre.

L'examen des valeurs médianes montre que la densité des kystes pleins va en croissance avec les variétés (kondor, Spunta et Désirée). En comparaison, on note une faible variabilité de l'étendue pour la variété Kondor et Spunta et une grande variabilité pour la variété Désirée.

Si nous considérons les variétés séparément, pour la Désirée, 50% des échantillons analysés ont des valeurs allant de 12 à 31 kystes/kg de sol avec une valeur médiane de 22. Les variabilités minimales et maximales sont comprises entre 8 et 12 kystes/kg de sol et de 31 à 34 kystes/kg de sol respectivement, représentant un taux de l'ordre de 25%. Concernant la variété Spunta, 50% des échantillons étudiés montrent une densité allant de 2,50 à 10,50 avec une valeur médiane de 5,5 kystes. Les variabilités maximales et minimales sont de l'ordre de 10,5 à 13 kystes et de 2 à 2,50 kystes respectivement. Par contre, la population de la variété Kondor est distincte de deux précédentes par une faible variabilité, elle est divisée en deux parties, la première présente une densité de 0 à 1 kyste qui correspond à 50% de la population et la seconde montre des valeurs nulles (indemne de ce nématode) qui représente 50% des échantillons étudiés.

Relation entre le nombre de larves L_2 /g de sol et la variété utilisée

L'examen des médianes de la figure 42, représentant les valeurs de chaque catégorie comme caractéristique de tendance centrale de la variable, montre que le degré d'infestation des *Globodera* sur la culture de la pomme de terre se conduit en fonction des variétés. La probabilité calculée montre une différence hautement significative ($p=0,003426 < 0,01$).

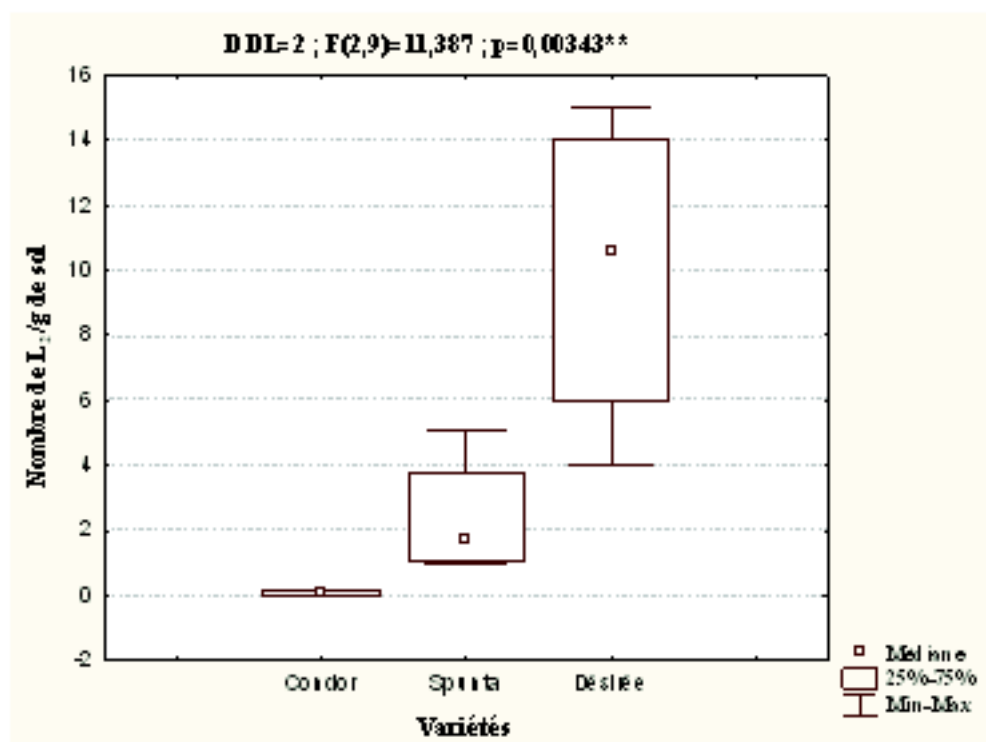


Fig. 42 - Distribution du nombre de larves infestantes L_2 de *Globodera* en fonction des variétés de pomme de terre.

Pour la variété Désirée, 50% des échantillons révèlent un nombre de L_2 /g de sol varie de 6 à 14 avec une valeur médiane de 10,54 et une plus grande variabilité du côté inférieur comprise entre 4 et 6 L_2 . Cependant, pour la variété Spunta la variabilité est restreinte, dont 50% de population est limitée entre 1 à 3,74 L_2 avec une valeur médiane de 1,71 et 50% ont une valeur varie de 3,74 à 5,11 L_2 . Concernant la variété Kondor où la variabilité est faible,

un taux de 50% des échantillons illustre un nombre de L_2 conçue entre 0 et 0,2 avec une valeur médiane de 0,09 L_2 et l'autre 50% ne présentent aucune larve.

Les résultats de l'analyse croisée entre le nombre des kystes pleins et la variété et entre le nombre de L_2 /g de sol et la variété, montrent que la même variabilité (importante, moyenne et faible) est enregistrée dans les mêmes variétés dans les deux cas. Sur la base des résultats précités, il apparaît clairement l'existence d'une relation entre la densité des kystes pleins et le nombre de L_2 /g de sol. Dans ce qui suit nous recherchons la corrélation entre ces deux variables.

II.3.1.1.3.4.- Relation entre le degré d'infestation et le nombre des kystes pleins

La courbe de régression des effectifs de larves L_2 /gde sol (stade infectieuse) de nématode à kyste du genre *Globodera* en fonction du nombre des kystes pleins dans trois variétés de pomme de terre (Kondor, Spunta et Désirée) est portée dans la figure 43.

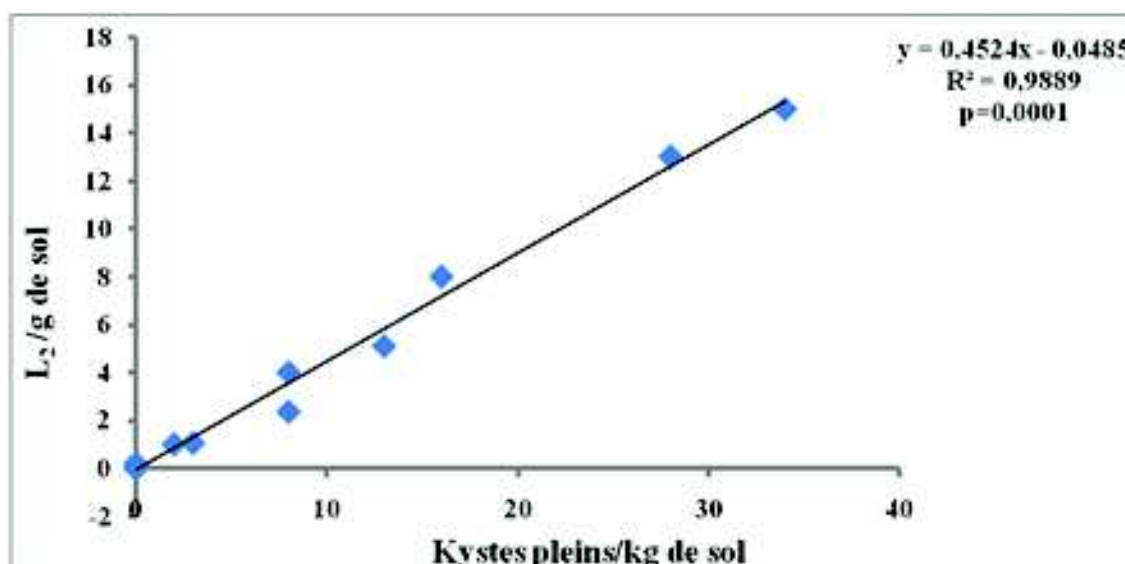


Fig. 43 - Régression du nombre moyen de L_2 /g de sol en fonction des kystes pleins/kg de sol en provenance des parcelles de trois variétés de pomme de terre.

L'analyse de la régression linéaire montre que le nombre de L_2 /g de sol et le nombre des kystes pleins sont positivement corrélés avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001 < 0,001$) et le coefficient de détermination s'élève à ($R^2=0,98$) qui explique 98 % de la variation. Cette forte corrélation entre ces deux variables, pourrait s'expliquer par l'influence du même facteur sur celles-ci qui est probablement c'est la variété.

II.3.1.2.- Effet du nématode *Globodera* sp. sur les paramètres de croissance de trois variétés de pomme de terre

Les paramètres de croissance qui ont été pris en considération sont représentés par le nombre moyen de tubercules par plant, poids moyen de tubercules, production moyenne par plant et le rendement. Les résultats sur les paramètres de croissance sont représentés dans les tableaux 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 en annexe et synthétisées dans le tableau 18.

Variété	Répétition	Nombre moyen de tubercules/plant	Poids moyen de tubercules (g)	Production/plant (kg)	Rendement (qx/ha)
Kondor	R1	7	156,75	1,05	546
	R2	8	140,51	1,09	566,8
	R3	8	142,40	1,15	598
	R4	6	147,37	0,86	447,2
Spunta	R1	7	145,04	0,97	504,4
	R2	6	166,31	1,04	540,8
	R3	8	141,05	1,10	572,00
	R4	8	125,75	0,94	488,80
Désirée	R1	8	98,71	0,76	395,2
	R2	7	130,34	0,83	431,6
	R3	7	126,63	0,87	452,4
	R4	8	93,44	0,72	374,4

Tableau 18. Les valeurs moyennes des paramètres de croissance pris en considération.

Les paramètres de croissance étudiés, sont variables d'une variété à une autre et au sein de la même variété pour chaque variable étudiée. En effet, le nombre moyen de tubercules par plant est systématique (8 tubercules) dans la plupart des parcelles comme R2 et R3 de la variété Kondor, R3 et R4 de Spunta et R1 et R4 de la Désirée. Il est de 6 ou de 7 tubercules dans d'autres parcelles. Concernant le poids moyen de tubercules, il est important chez R2 de la variété Spunta et faible chez R4 de la même variété avec des valeurs respectives de 166,31g et 93,44g. Parallèlement, la production par plant est importante dans R3 de la variété Spunta avec 1,10 kg et faible dans R4 de la Désirée (0,72 kg). Cependant, le rendement présente aussi une variabilité, dont le bon rendement est obtenu dans la parcelle R3 de la variété Kondor avec 598 qx/ha et le faible rendement est récolté dans la parcelle R4 de la Désirée.

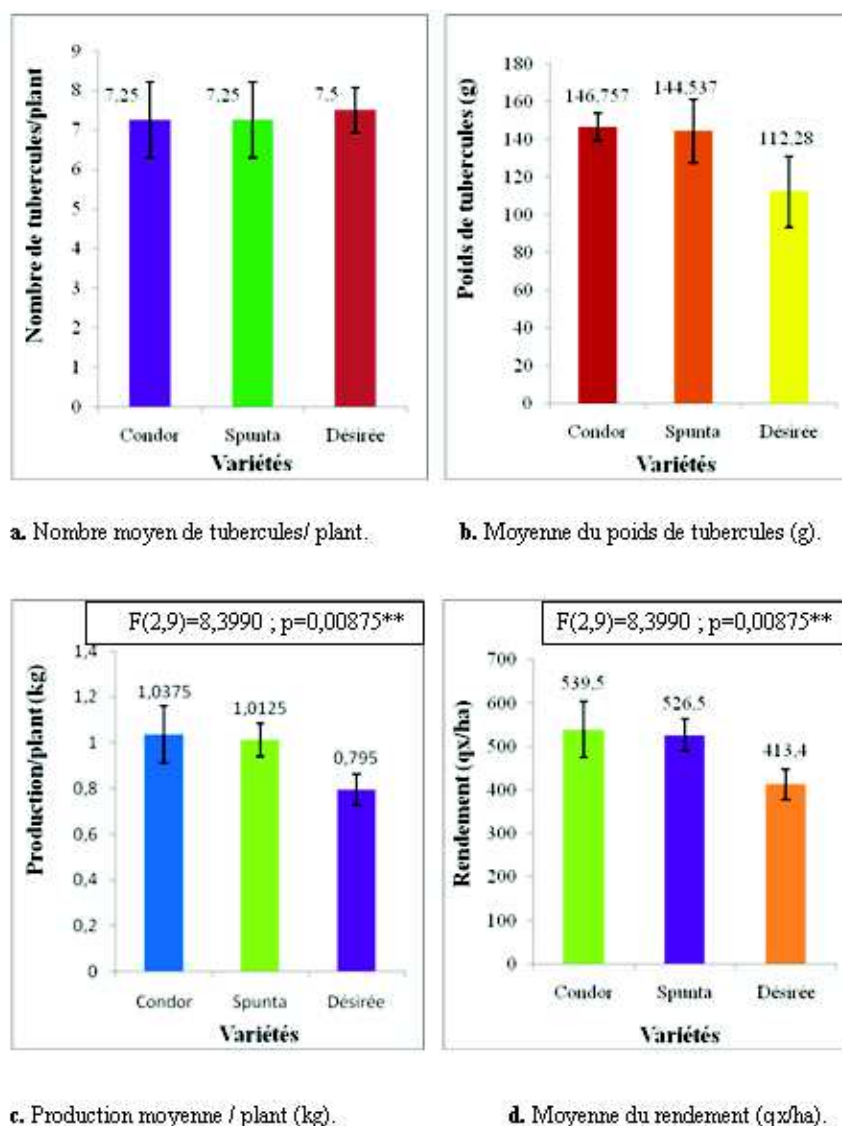


Fig. 44 - Les paramètres de croissance considérés en fonction des variétés.

L'examen de la figure 44 portant sur le calcul des moyennes des paramètres de croissance et les écart-types correspondants permet de mettre en évidence une différence entre les variétés. Pour le nombre de tubercules/plant la différence est faible, variant de 7,25 chez la variété Kondor et Spunta à 7 tubercules en moyenne chez la Désirée avec des écart-types faibles respectifs de 0,95 et de 0,57. Contrairement, au poids de tubercules la différence est importante, variant de 112,28g à 146,75g en moyenne avec des écart-types respectifs de 18,89 et de 7,26 pour la variété Désirée et Kondor. De même tendance s'observe à la production/plant, avec une variabilité importante, allant de 0,79 à 1,03kg avec des écart-types faibles de 0,06 et de 0,12 pour la Désirée et Kondor respectivement. Parallèlement, le rendement évalué est aussi caractérisé par une grande différence entre les variétés, il varie de 413,5 à 539,5qx/ha avec des écart-types élevés respectifs de 35,14 à 65,13 pour les variétés Désirée et Kondor.

Comparativement, les différences calculées par rapport aux moyennes restent très élevées entre les variétés pour la variable poids de tubercules, production par plant et le

rendement, ce qui explique et témoigne d'ailleurs de la variabilité de la densité d'attaque de nématode *Globodera* sp.

II.3.1.2.1.- Exploitation statistique des résultats

II.3.1.2.1.1.- Analyse fréquentielle des paramètres de croissance

Afin de tirer des informations plus fiables sur les classes des paramètres de croissance de trois variétés de pomme de terre nous avons procédé à une analyse fréquentielle des valeurs de chaque variable. Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 45.

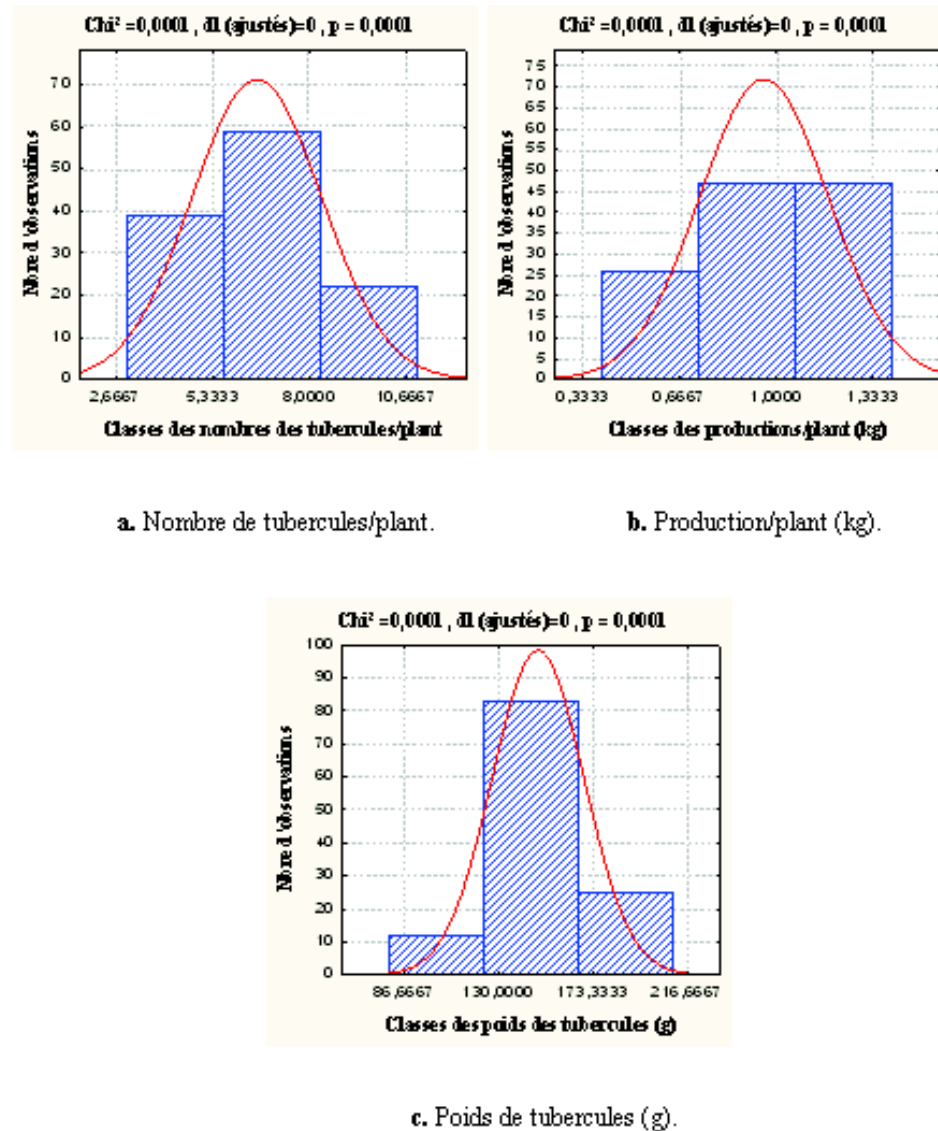


Fig. 45 - Analyse fréquentielle des paramètres de croissance de trois variétés de pomme de terre.

Les données de la figure 45, portant sur des paramètres de croissance s'ajustent à une loi normale et la probabilité est très hautement significative ($p=0,0001 < 0,001$). Ces paramètres se regroupent en trois classes. Concernant le nombre de tubercules par plant (Fig. 45a), un effectif maximal de 59 plants a de nombre variant de 5,66 à 8,33 tubercules.

Les valeurs inférieures à 5,66 ont été observées sur 39 cas. La dernière classe où les valeurs sont supérieures à 8,33 a regroupé 22 plants. Cependant, la production/plant la classe de 0,73 à 1,06 kg regroupe un effectif de 47 plants. La classe inférieure à 0,73 kg et la classe supérieure à 1,06 kg renferment respectivement 26 et 47 plants. Toutefois, pour le poids de tubercules les trois classes sont : (<123,22 g), (de 123 à 166,66 g) et (>166,66 g) avec des observations respectives de 12, de 83 et de 25 plants.

II.3.1.2.1.2.-Analyse de la variance

Comme très souvent le calcul des moyennes peut faire perdre beaucoup d'informations, nous avons procédé à l'analyse de variance pour les variables liées à la plante hôte, à savoir le nombre de tubercules par plant, poids de tubercules, production par plant et le rendement afin de tirer d'avantage d'informations. Les résultats d'analyse obtenus sont regroupés dans le tableau 19.

Tableau 19. Analyse de la variance au seuil de 5% pour l'effet de la variété sur les paramètres de croissance.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Tubercules/plant	0,17	2	0,08	6,50	9	0,722	0,115385	0,892320
Poids de tubercules	2978,90	2	1489,45	2068,85	9	229,872	6,479469	0,018065*
Production/plant	0,14	2	0,07	0,08	9	0,008	8,399016	0,008749**
Rendement	38482,43	2	19241,21	20618,00	9	2290,889	8,399016	0,008749**

Sur les quatre variables considérées, 3 sont significatives. Il s'agit de poids de tubercules, qui présente une probabilité significative ($p=0,018065<0,05$). La comparaison des productions par plant montre une probabilité hautement significative ($p=0,008749<0,01$) et la probabilité calculée pour le rendement présente elle aussi un effet hautement significative ($p=0,008749<0,01$). Le nombre de tubercules par plant ne présente pas une signification, peut être c'est un caractère variétale (génétique) ou bien il est influencé par d'autres facteurs (les conditions pédoclimatiques par exemple).

Test de Newman-Keuls

Afin de comparer les moyennes des paramètres de croissance considérés, on a procédé à un test de Newman-Keuls. Les résultats du test sont portés dans les tableaux 20, 21 et 22.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 229,87 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Désirée	112,2800		****
2	Spunta	144,5375	****	
3	Kondor	146,7575	****	

Tableau 20. Résultats du test de Newman-Keuls au seuil de 5% sur le poids de tubercules.

Le test fait ressortir l'existence de deux groupes, le premier regroupe la variété Spunta avec une moyenne de 144,53 g et Kondor avec 146,75 g et le second renferme la variété Désirée avec une moyenne faible (112,28 g).

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 0,00847 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Désirée	0,795000		****
2	Spunta	1,012500	****	
3	Kondor	1,037500	****	

Tableau 21. Résultats du test de Newman-Keuls sur la production/plant.

Les résultats montrent que la variété Spunta et Kondor se trouvent dans un même groupe avec une moyenne de 1,01 et 1,03 kg respectivement et la variété Désirée se trouve dans un autre groupe avec une moyenne faible de l'ordre de 0,79 kg.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 2290,9 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Désirée	413,4000		****
2	Spunta	526,5000	****	
3	Kondor	539,5000	****	

Tableau 22. Résultats du test de Newman-Keuls au seuil de 5% sur le rendement.

Le test indique la formation de deux groupes distincts. L'un rassemble deux variétés à savoir Spunta et Kondor avec un bon rendement, il est de l'ordre de 526,50 et 539,50 qx/ha respectivement et l'autre renferme la variété Désirée qui montre un faible rendement (413,4 qx/ha).

Après le test de Newman-Keuls au seuil de 5% sur les paramètres de croissance de trois variétés de pomme de terre (Kondor, Spunta et Désirée) (tableau 20, 21 et 22) et sur le degré d'infestation de ces variétés par les nématodes à kystes du genre *Globodera* (tableau 17), on remarque que le groupe qui présente un degré d'infestation élevé qui correspond à la variété Désirée, il présente des valeurs faibles pour les trois paramètres de croissance (poids des tubercules, production/plant et le rendement). Tandis que, le groupe qui caractérise par un faible degré d'infestation et qui renferme la variété Kondor et Spunta, il présente des moyennes élevées pour les trois paramètres de croissance précités. En conséquence, ce type de parasite joue un rôle sur les paramètres de croissance de la plante hôte.

Au cours de suivi de notre essai, un mois et demi environ après la plantation on a remarqué l'effet des nématodes même sur les parcelles étudiées de la variété Spunta et

Désirée par une végétation faible qui se manifeste sous forme de taches, mais les parcelles de la variété Kondor ne présentent pas ces symptômes (Fig. 46).



a. La parcelle de la variété Désirée (R2) (Original).



b. La parcelle de la variété Spunta (R4) (Original).

Fig. 46 - Zones de faible végétation dans les parcelles de la variété Spunta et Désirée.

Nous retenons donc que les variables liées au poids de tubercules, la capacité de production des plants et le rendement sont influencées par la densité d'attaque des nématodes. Dans ce qui suit nous recherchons les corrélations qui peuvent ressortir entre les degrés d'infestation de ce nématode et les paramètres de croissance de la plante hôte. Dans ce cas là, l'analyse en composante principales (ACP) est avérée intéressante afin de tirer plus d'information sur les variables étudiées.

II.3.1.2.1.3.- Analyse en composantes principales (ACP)

L'exploitation par une analyse en composantes principales des variables liées à la plante hôte et au parasite, a permis de mettre en évidence une corrélation entre les variables en fonction des axes.

Choix des facteurs (axes) : la contribution des variables étudiées pour la construction des axes est égale à 99,47% pour l'axe 1 et 0,53% pour l'axe 2 (tableau 23). La somme des pourcentages des deux axes est de 100% ce qui permet de retenir ces deux axes pour la suite de l'étude. En conséquence le plan 1,2 est retenu.

Tableau 23. Valeurs propres des facteurs retenus par l'ACP.

Numéro de valeur propre	Valeur propre	% Total variance	Cumul de valeur propre	Cumul de %
1	4,973371	99,46741	4,973371	99,4674
2	0,026629	0,53259	5,000000	100,0000

Deux facteurs ayant une valeur propre égale à 1 sont retenus pour l'ACP sur la base du critère de Kaiser. Le tracé des valeurs propres (Fig. 47) montre qu'au delà de trois facteurs la pente du tracé des valeurs propres change et les valeurs semblent s'équilibrer à droite du tracé ne présentant que des "éboulis factoriels". Le tracé des valeurs propres semble confirmer le choix de 2 facteurs principaux pour définir l'ACP.

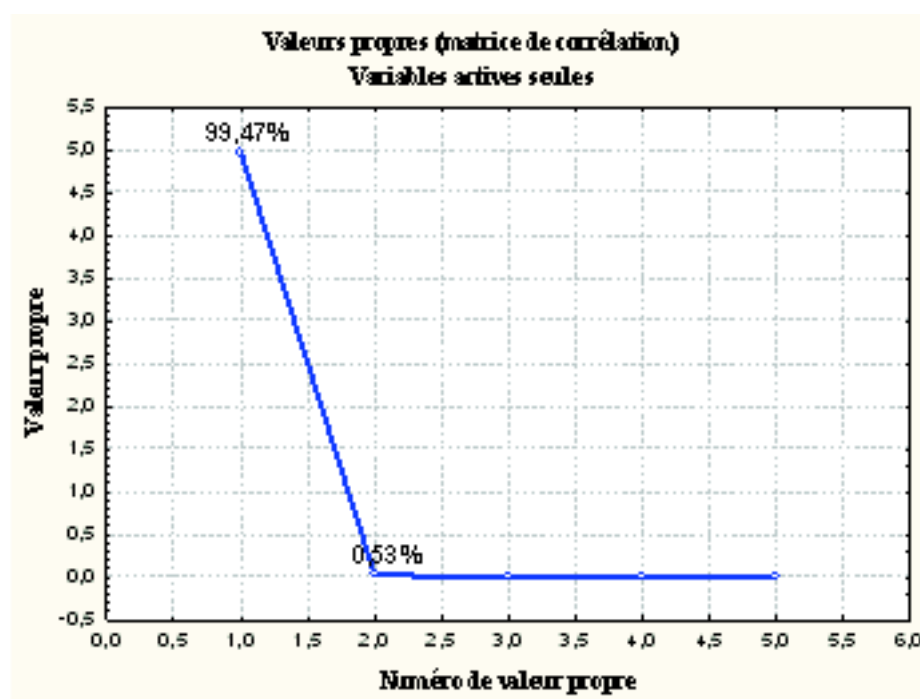


Fig. 47 - Tracé des valeurs propres

L'ACP effectuée explique toute la variabilité (100%). Le premier axe factoriel explique 99,47% de la variabilité totale, le deuxième axe extrait par l'ACP explique seulement 0,53%. Le facteur 1 extrait par l'ACP est inversement lié à la variable de poids de tubercules, production/plant et le rendement, mais il est associé à la variable de nombre de tubercules/plant et le degré d'infestation des *Globodera* sp., le facteur 2 est corrélé négativement à la variable de degré d'infestation (tableau 24).

Tableau 24. Coordonnées des variables mesurées dans le repère défini par les différents facteurs retenus par l'ACP.

Variable	Facteur 1	Facteur 2
Tubercules/plant	0,996001	0,089347
Poids de tubercules	-0,999491	-0,031894
Production/plant	-0,999898	-0,014301
Rendement	-0,999990	0,004390
Degré d'infestation	0,991259	-0,131930

La contribution de la variable à un facteur est mesurée par les valeurs relatives des coefficients de cette variable sur les différents facteurs, elle est de :

Axe 1 : La variable "rendement" contribue à la construction de cet axe avec 20,1067%, suivie par "production/plant" avec 20,1030%, "le poids de tubercule" avec 20,0866% et "nombre de tubercules/ plant" avec 19,9466%. La variable "degré d'infestation" quant à elle ne contribue qu'avec 19,7571%.

Axe 2 : La variable "degré d'infestation" participe fortement à la formation de cet axe avec 65,3620%, suivie par la variable "nombre de tubercules/plant" avec 29,9778%, la variable "poids de tubercules" avec 3,8198% et la variable " production/plant" avec 0,7680%. En fin, la variable "rendement" participe avec un faible pourcentage (0,0724%).

Les valeurs des coefficients de corrélation calculées entre les variables étudiées sont mentionnées dans le tableau 25.

Tableau 25. Matrice de corrélation obtenue à partir des variétés étudiées.

Variable	Tubercules/ plant	Poids de tubercules	Production/ plant	Rendement	Degré d'infestation
Tubercules/ plant	1,000000	-0,998343	-0,997176	-0,995599	0,975507
Poids de tubercules	-0,998343	1,000000	-0,999845	0,999342	-0,986547
Production/ plant	-0,997176	0,999845	1,000000	0,999825	-0,989271
Rendement	-0,995599	0,999342	0,999825	1,000000	-0,991829
Degré d'infestation	0,975507	-0,986547	-0,989271	-0,991829	1,000000

D'après les résultats récapitulés dans le tableau 25, on remarque que les coefficients de corrélation (r) sont proches de (+1) ou (-1), ce qui indiquent une corrélation forte et proportionnelle ou inversement proportionnelle respectivement entre les variables étudiées. La représentation graphique de ces variables est illustrée sur un cercle défini par les deux axes choisis précédemment.

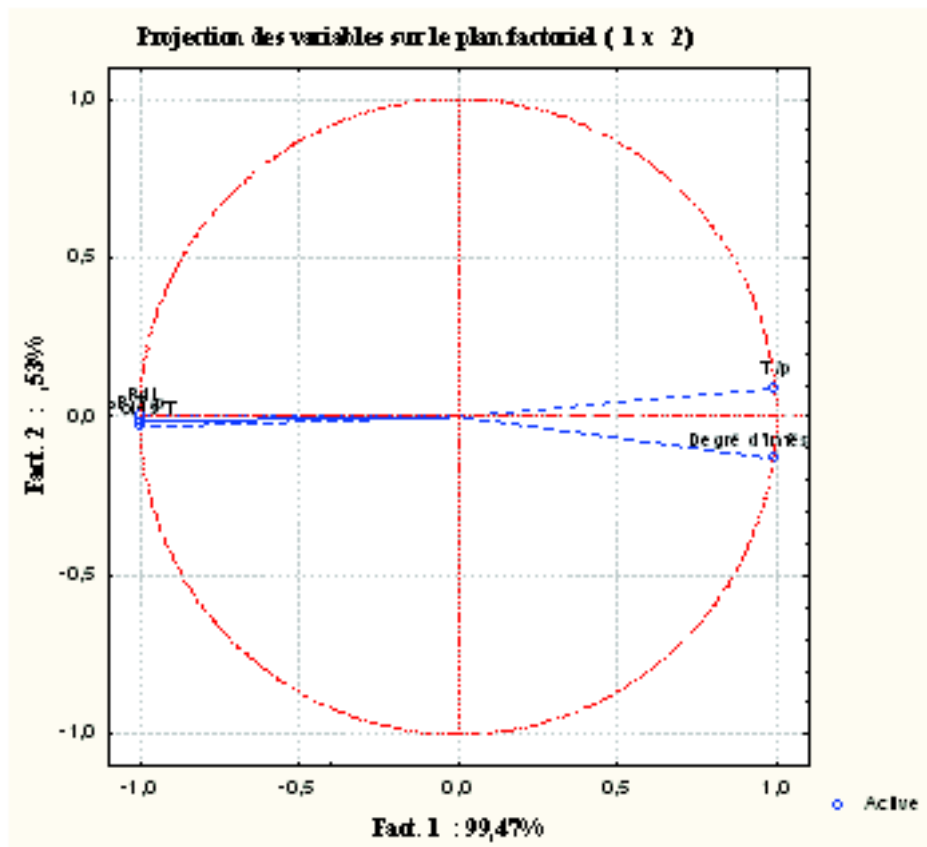


Fig. 48 - Analyse en composantes principales (ACP)
relativement aux tables de contingence reliant les paramètres
de croissance et le degré d'infestation de différentes variétés.

La distribution des variables sur le plan factoriel, montre que toutes les variables sont situées sur le périmètre du cercle, ce qui indique une présence de corrélation entre elles. Pour connaître le type de celle-ci, on doit calculer le coefficient de corrélation (r) qui est déterminé par $\cos \alpha$, sachant que α c'est l'angle entre deux variables.

Concernant les variables de "rendement", "production/plant" et "poids de tubercules" sont occupées presque au même point, c'est-à-dire " α " est proche de 0° et le $\cos 0=1$, donc il y a une corrélation forte et proportionnelle entre ces variables et c'est le même type entre la variable de "degré d'infestation" et "nombre de tubercules/plant", parce que " α " est petite, autrement dit la valeur de (r) est proche de 1. Par contre, la corrélation forte et inversement proportionnelle entre ces trois variables et "degré d'infestation" ou "nombre de tubercules/plant", parce que l'angle $\alpha \approx 180^\circ$ qui correspond à $r \approx (-1)$, c'est-à-dire les valeurs de deux variables sont opposées.

Le plan factoriel (1x2) sert aussi à la présentation des individus (les variétés) (Fig. 49). La contribution des variétés pour la formation des axes est variable. En effet, pour l'axe 1 la variété Désirée présente un fort pourcentage (66,13447%), suivie par Kondor (22,07059%) et Spunta ne contribue qu'avec 11,79493%. Cependant pour l'axe 2, une forte participation est présentée par Spunta avec 54,87173%) et une faible contribution est montrée par la Désirée avec 0,53219%. Concernant la variété Kondor participe moyennement à la formation de cet axe (44,59607%).

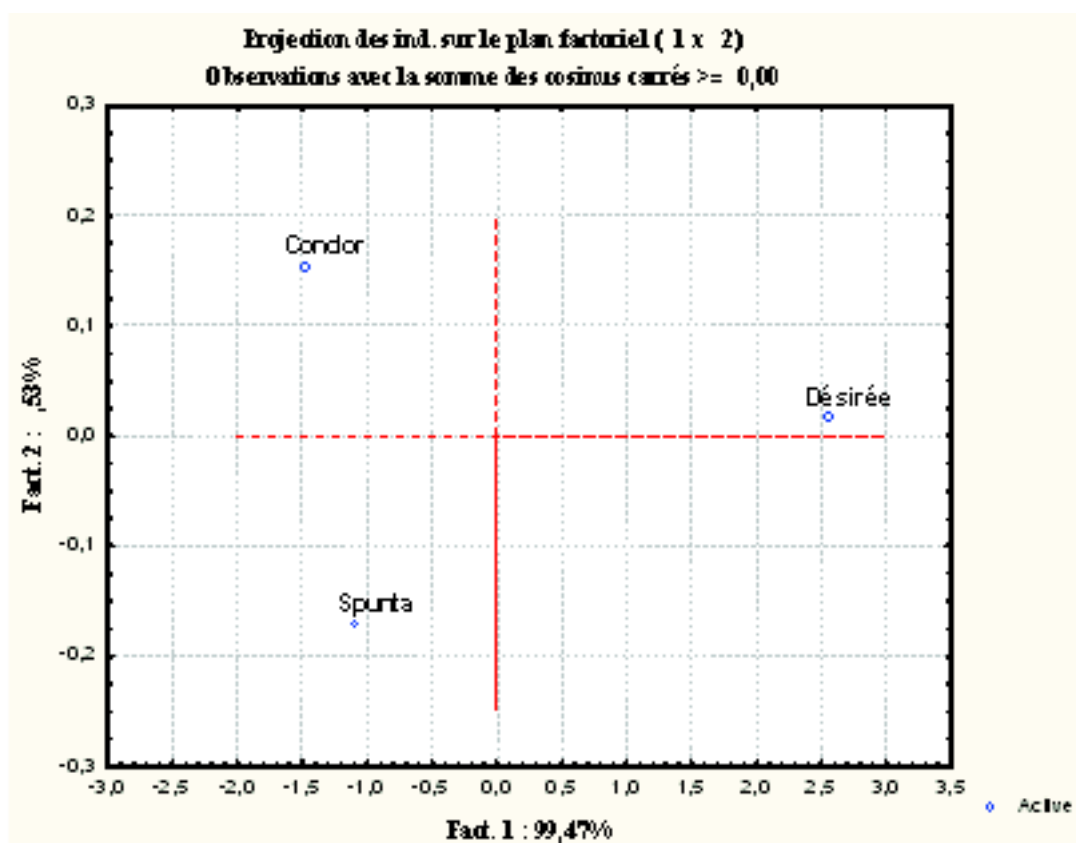


Fig. 49 - Plan factoriel (1x2) de la répartition des variétés de pomme de terre étudiées en relation avec les paramètres de croissance et le degré d'infestation.

La présentation graphique du plant défini par les axes 1 et 2, montre que les trois variétés de pomme de terre sont réparties dans les différents cadrans de la carte factorielle. En effet, la Désirée se trouve dans le quadrant 1, Spunta dans le quadrant 3 et Kondor dans le quadrant 4. Cela nous a permis de dire que les variétés sont complètement différentes, elles ne présentent aucune ressemblance du point de vue les variables étudiées.

II.3.1.2.1.4.- Classification hiérarchique des variables étudiées

La classification hiérarchique a pour but de rassembler les variables étudiées par des mesures de similarité ou de distance pour identifier les plateaux, où de nombreuses classes sont générées à une distance d'agrégation voisine. La classification des paramètres de croissance et le degré d'infestation est représenté dans la figure 50.

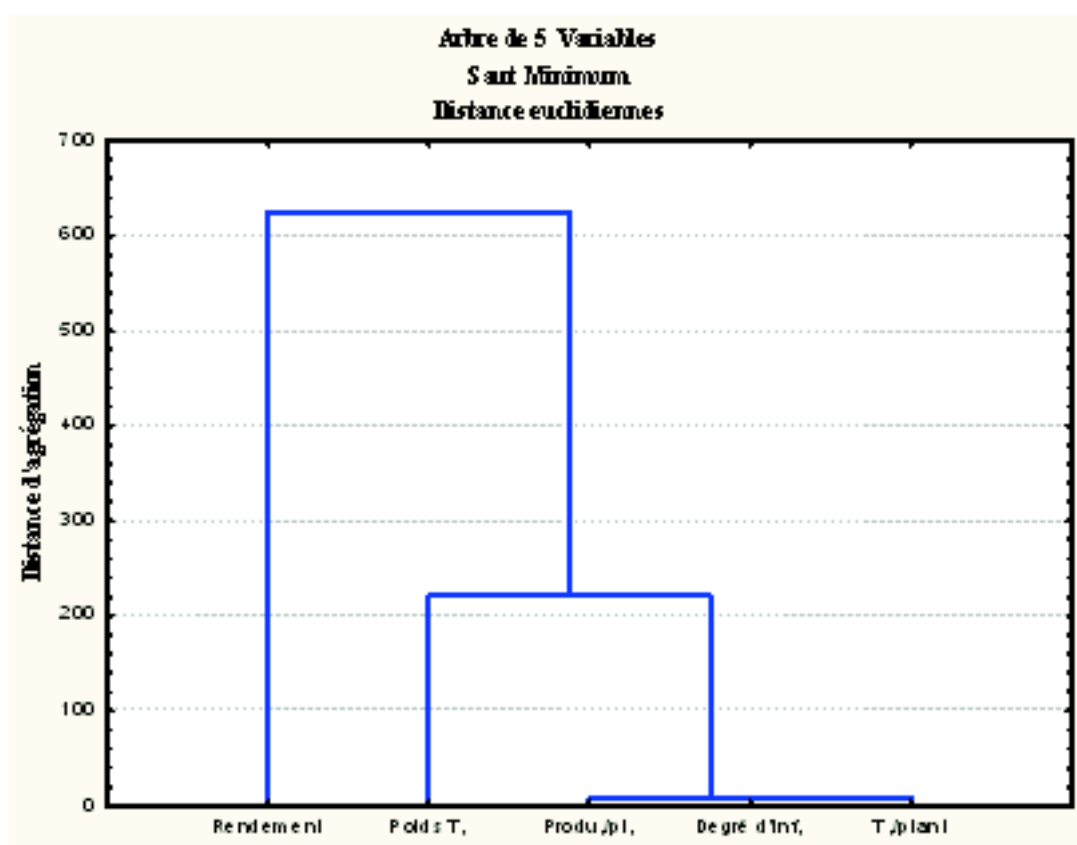


Fig. 50 - Classification ascendante hiérarchique des variables considérées.

La classification hiérarchique ascendante basée sur le calcul de distances euclidiennes récapitulées dans la figure 50, montre qu'il y a une relation entre le degré d'infestation de parasite et les paramètres de croissance de son hôte et met en évidence quatre groupes de statut constitutifs différents. En effet, le degré d'infestation est lié au nombre de tubercules par plant et la production par plant est liée au degré d'infestation. Ces deux derniers paramètres sont en relation avec le poids de tubercules. En fin, le rendement est en étroite relation avec le poids de tubercules.

Cette analyse explique que la variabilité de ces paramètres est relationnelle.

II.3.1.3- Caractéristiques des populations de nématodes à kystes *Globodera* sp.

II.3.1.3.1.- Caractères morphologiques des kystes

Les observations des kystes sous la loupe binoculaire montrent qu'ils sont variables entre eux sur le plan morphologique. Pour bien voir les critères morphologiques spécifiques des kystes, on fait une observation de ceux-ci sous un microscope optique.

L'observation montre qu'il y a une large variabilité entre les kystes. Elle concerne : la forme (globuleuse ou arrondi), la couleur (brun, brun foncé, marron, marron foncé, marron clair et jaune). En outre, la taille est différente. On peut trouver des petits kystes et des kystes de grande taille (Fig. 5). Enfin, la longueur de la tête (Fig.51) diffère d'un kyste à l'autre. Cette dernière bien apparente chez la majorité des kystes, sert à la fixation du parasite sur les racines de la plante hôte.

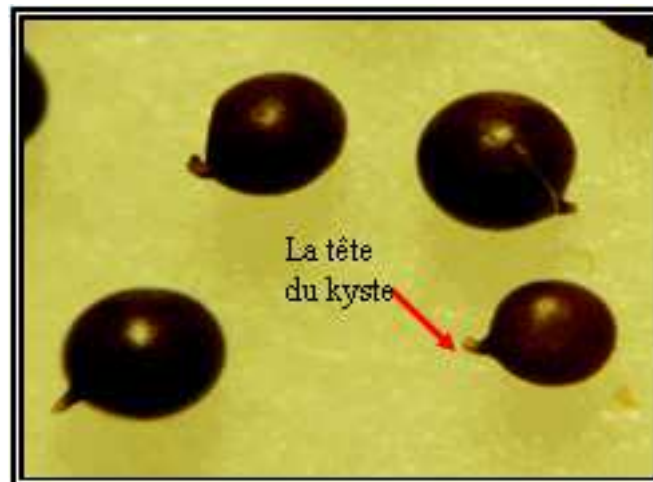


Fig. 51 - Kyste de *Globodera* avec tête de longueur différente (vue sous la loupe binoculaire ; G 1,6 x 10)

(Original).



Fig. 52 - Kyste de *Globodera* de différentes tailles et couleurs (vue sous la loupe binoculaire ; G 1,6 x 10)

(Original).

Suite aux différentes observations, on constate que dans certains kystes la présence des œufs à l'intérieur sont des kystes pleins (Fig. 54). Tandis que, les autres kystes ne renferment pas d'œufs, sont des kystes vides (Fig. 53).



Fig. 53 - Les kystes de *Globodera vides* (vue sous la loupe binoculaire ; G 1,6 x 10)
(Original)

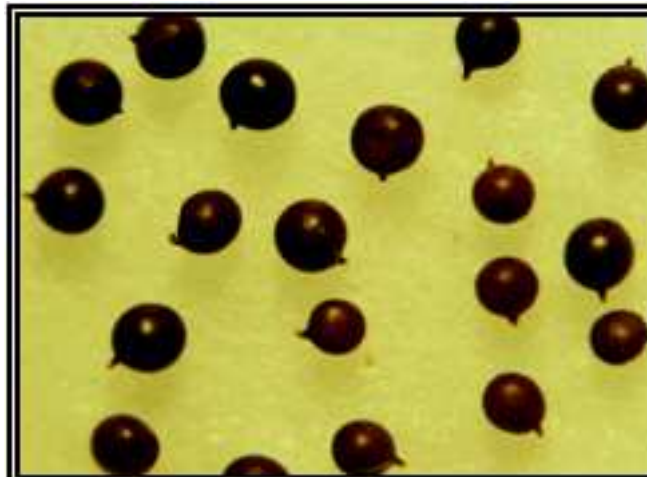


Fig. 54 - Les kystes de *Globodera pleins* vue sous la loupe binoculaire ; G 1,6 x 10)
(Original).

Lors des différents prélèvements des kystes, on a trouvé des kystes caractérisés par des cuticules déchirées. Ce phénomène peut être causé par les manipulations durant l'échantillonnage et l'extraction. Ces kystes montrent dans la majorité des cas un aspect vide (Fig. 55).

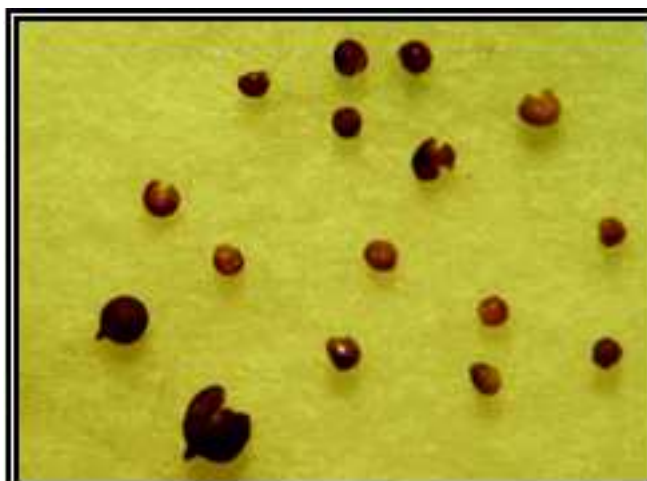


Fig. 55 - Les kystes écrasés de *Globodera* (vuesousla loupe binoculaire; G 1,6 x 10)
(Original).

II.3.1.3.2.- Dénombrement des œufs par kyste de *Globodera* appartenant à deux variétés de pomme de terre

II.3.1.3.2.1.- Analyse descriptive du nombre d'œufs par kyste

Les résultats de dénombrement des œufs sont représentés dans le tableau 14 en annexe. L'analyse descriptive de ces résultats est consignée dans le tableau 26.

Tableau 26. Analyse descriptive du nombre d'œufs par kyste de deux populations.

Population	Effectif (kyste)	Nombre moyen d'œufs/kyste	Ecart-type	Valeurs extrêmes	Coefficient de variation (%)
Spunta	26	367,42	124,52	122-559	33,89
Désirée	26	461,23	110,51	297-804	23,95

L'analyse des résultats obtenus dans le tableau 26 montre que les kystes qui se développent sur la variété Désirée présentent un nombre important d'œufs/kyste ($461,23 \pm 110,51$ œufs/kyste) par rapport à ceux qui se développent sur la variété Spunta ($367,42 \pm 124,52$ œufs/kyste). Le nombre d'œufs/kyste est compris entre 297 et 804 œufs et entre 122 et 559 œufs respectivement pour la variété Désirée et Spunta.

Concernant le coefficient de variation, il est important dans la population de la variété Spunta (33,89%) et faible dans la population de la variété Désirée (23,95%) ce qui explique une grande variabilité du nombre d'œufs/kyste dans la première population et une faible variabilité dans la deuxième population.

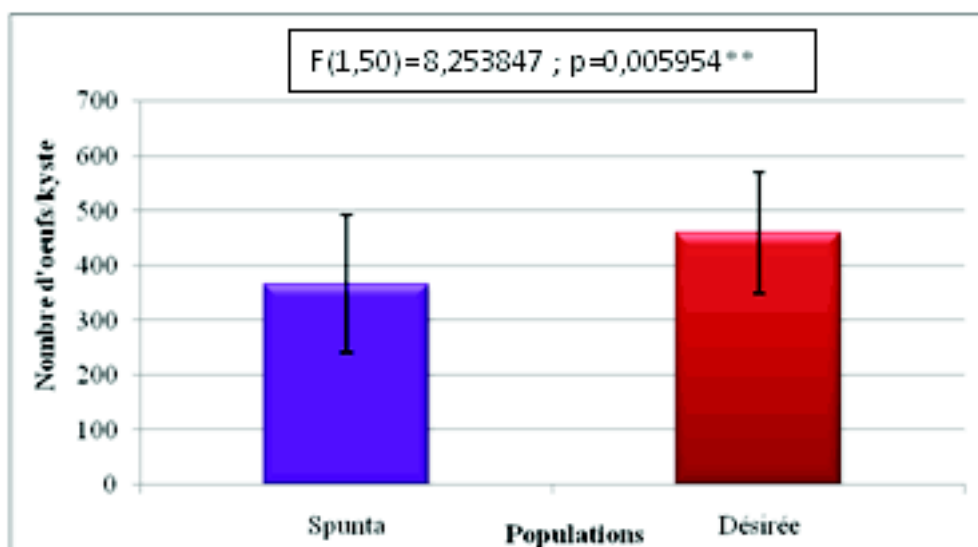


Fig. 56 - Diagramme du nombre moyen d'œufs par kyste de deux populations de *Globodera*.

Globalement les résultats présentés donnent une idée générale sur les moyennes du nombre d'œufs par kyste mais ne montrent pas de différences nettes. Afin de tirer plus d'information nous avons jugé utile d'établir une analyse de la variance des nombres moyens calculés sur l'ensemble des kystes de deux populations considérées.

II.3.1.3.2.2.- Analyse de la variance

La comparaison des moyennes du nombre d'œufs par kyste a été faite par l'analyse de variance. Les résultats sont portés dans le tableau 27.

Tableau 27. Analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet de la variété sur le nombre d'œufs par kyste.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
œufs/kyste	114398,5	1	114398,5	693001,0	50	13860,02	8,253847	0,005954**

Sur la base des résultats de l'analyse de la variance du nombre d'œufs/kyste, il apparaît clairement qu'il y a une différence entre les variétés avec une probabilité hautement significative ($p=0,005954 < 0,01$) ce qui permet de dire que la variété présente un rôle sur cette variable.

Test de Newman-Keuls

Afin de comparer les moyennes du dénombrement des œufs par kyste, on a procédé à un test de Newman-Keuls. Les résultats du test sont consignés dans le tableau 28.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 14164,00 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
2	Spunta	367,4231	****	
3	Désirée	461,2308		****

Tableau 28. Résultats du test de Newman-Keuls sur le nombre d'œufs/kyste.

Le teste de Newman-Keuls met en évidence deux groupes homogènes, le premier représenté par la population de la variété Spunta qui présente une moyenne faible de l'ordre de 367,4231 œufs/kyste et le second groupe renferme la population de la variété Désirée qui montre une moyenne importante (461,23 œufs/kyste).

II.3.1.3.2.3.- Analyse fréquentielle

Les données relatives au nombre d'œufs par kyste plein des nématodes à kyste du genre *Globodera* appartenant à deux variétés de pomme de terre sont exploitées par une analyse fréquentielle. Les résultats sont récapitulés dans la figure 57.

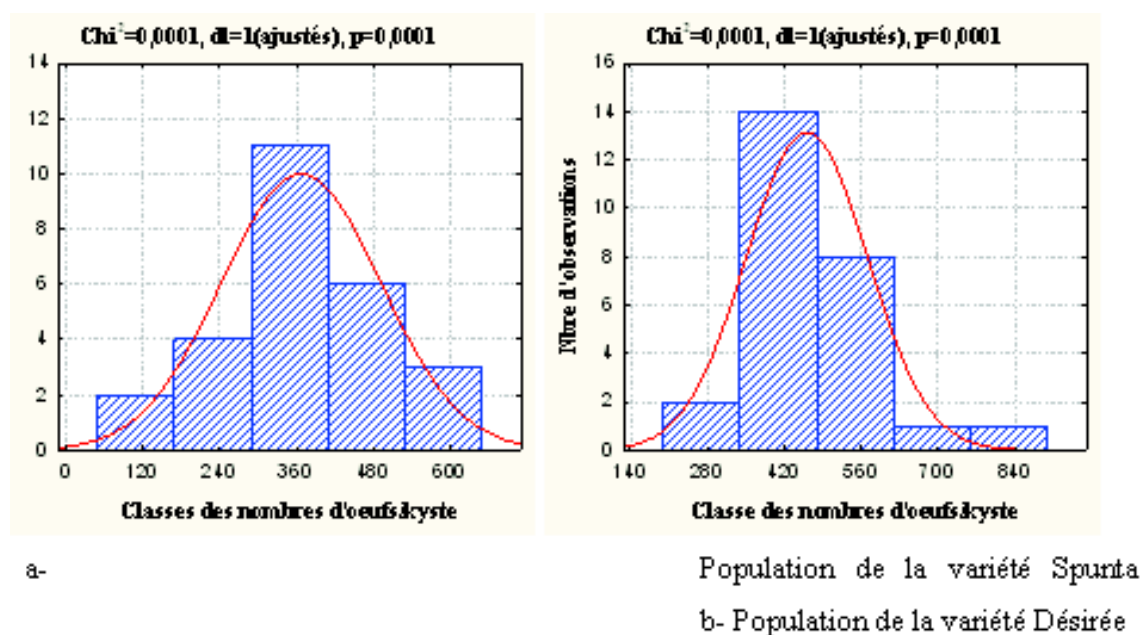


Fig. 57 - Analyse fréquentielle du nombre d'œufs/ kyste de *Globodera* de deux populations.

En ce qui concerne la population issue de la variété Spunta, les cas observés pour les kystes ayant un nombre inférieur à 170 œufs/kyste se limitent à 7,69%. Les kystes ayant des nombres compris entre 170 et 290 œufs/kyste s'élèvent à 15,38% de l'effectif total. La classe des nombres compris entre 290 et 410 œufs/kyste représente 42,30%, soit la proportion observée la plus représentative. Les kystes qui révèlent un nombre allant de 410 à 530 œufs/kyste sont de l'ordre de 23,07%. La dernière classe (> 530 œufs/kyste) se limite à 11,53% de l'effectif pris en considération. En comparaison, une augmentation nette du nombre d'œufs/kyste comptés pour la population de la variété Désirée par rapport à celle de

la variété Spunta. En effet, la classe la plus importante présente des kystes ayant un nombre varie de 240 à 480 œufs/kyste, soit 53,84% de l'effectif total. L'analyse de la variance pour le nombre d'œufs/kyste comptés pour les deux populations, met en évidence une différence très hautement significative ($p=0,0001>0,001$).

II.3.1.3.2.4.- Analyse croisée

Le rapport d'analyse croisée du nombre des œufs par kyste et en fonction des variétés étudiées est illustré dans la figure 58.

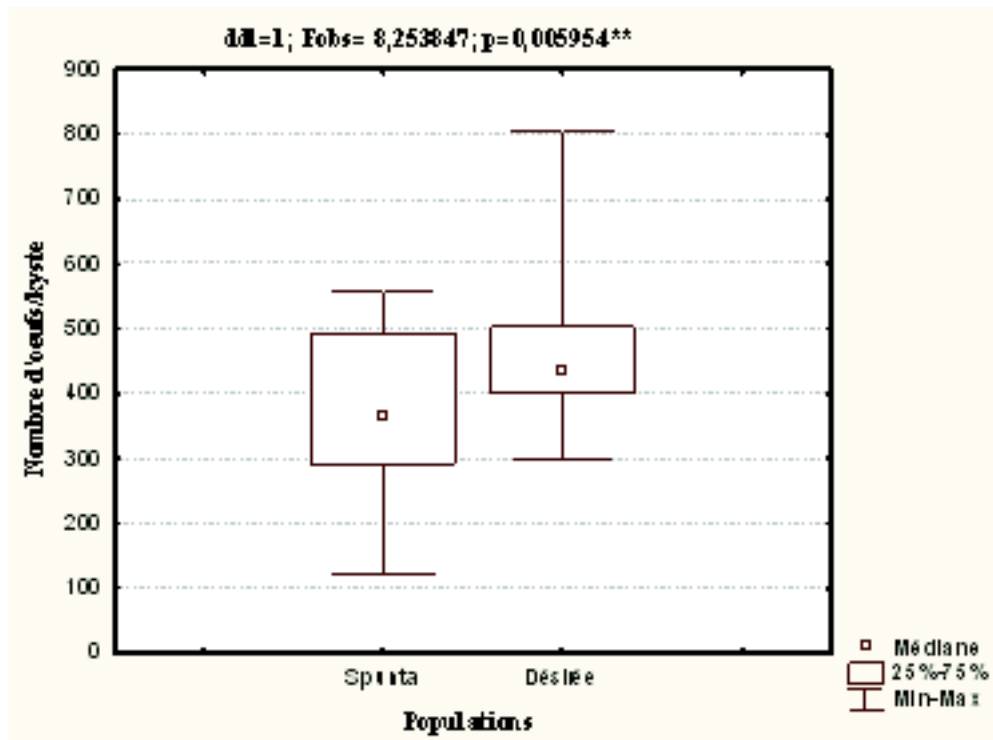


Fig. 58 - Distribution du nombre des œufs par kyste de *Globodera* en fonction des variétés.

En comparaison, il apparaît qu'à la population de la variété Désirée présente une grande variabilité de l'étendue par rapport à celle de Spunta. Pour les kystes qui appartiennent de la variété Désirée, on note 50% des individus ont un nombre varie de 402 à 503 œufs/kyste avec une valeur médiane de 436,50 œufs/kyste. La variabilité maximale s'élève à 804 œufs et minimale allant jusqu'à 297 œufs. Concernant la population de la variété Spunta, 50% de l'effectif total ont un nombre allant de 292 à 494 œufs avec une valeur médiane de 365 œufs. La variabilité minimale et maximale est de l'ordre de 122 et de 559 œufs respectivement.

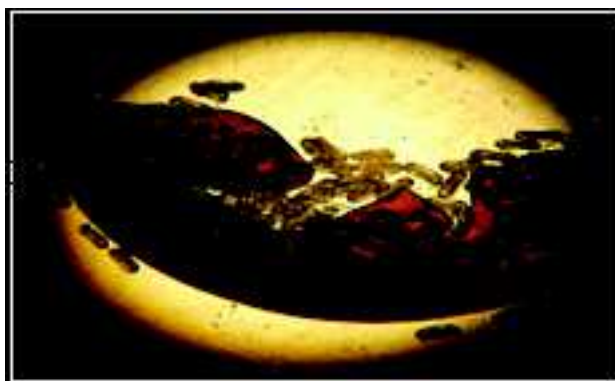


Fig. 59 - Vue microscopique des œufs des *Globodera*(G x 40)

(Original)

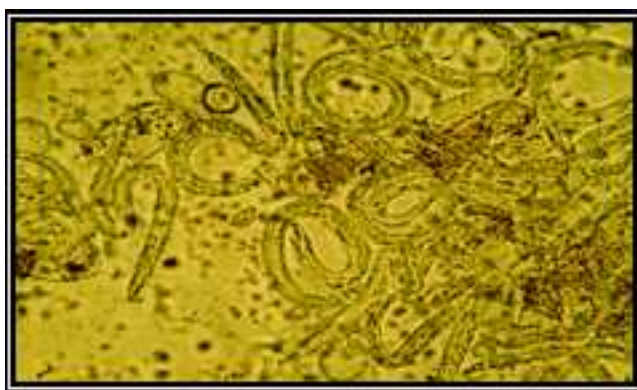


Fig. 60 - Vue microscopique des larves L₂des *Globodera* (G x 40)

(Original).

II.3.1.3.3.- Etude biométrique des kystes des *Globodera* appartenant à des parcelles des variétés différentes.

Les résultats de mensurations qui ont été faites sur les kystes (longueur, largeur et longueur du cou) de trois populations sont représentés dans les tableaux 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 et 26 en annexe et récapitulés dans les tableaux 29, 30 et 31.

II.3.1.3.3.1.- Analyse descriptive

II.3.1.3.3.1.1.- Longueurs des kystes

L'analyse descriptive de la longueur des kystes de *Globodera* est représentée dans le tableau 29 et illustrée dans la figure 61.

Tableau 29. Analyse descriptive de longueurs des kystes de *Globodera* appartenant à des parcelles de trois variétés de pomme de terre.

Variété	Répétition	Effectif (kystes)	Longueur (µm)	Ecart-type	Valeurs extrêmes	Coefficient de variation (%)
Kondor	R1	30	366,57	26,75	305,72-399,52	7,29
	R2	30	367,71	41,83	257,66-474,27	11,37
	R3	30	336,84	42,81	243,69-390,18	12,70
	R4	30	320,45	41,82	250-388,60	13,05
Spunta	R1	30	400,43	58,09	299,12-501,05	14,50
	R2	30	395,13	42,28	301,19-458,08	10,70
	R3	30	390,16	43,72	309,10-498,20	11,20
	R4	30	388,05	55,83	276,87-500,99	14,38
Désirée	R1	30	407,34	50,47	276,84-483,44	12,39
	R2	30	398,62	45,31	272,53-473,77	11,36
	R3	30	403,45	56,40	303,34-479,5	13,97
	R4	30	387,71	57,80	288,59-502,01	14,90

La longueur moyenne des kystes met en évidence une nette différence entre les populations étudiées. La plus grande valeur est évaluée chez les kystes issus de la parcelle R4 de la variété Désirée avec $407,34 \pm 50,47 \mu\text{m}$. En revanche la petite valeur a été enregistrée chez les kystes appartenant de la parcelle R4 de la variété Kondor avec $320,45 \pm 41,8 \mu\text{m}$. Les longueurs des kystes sont comprises entre le minimum de 250 et le maximum de 502,01 µm. La dispersion autour des moyennes est indiquée par le coefficient de variation qui est faible et presque comparable dans la plus part des populations, il varie de 7,29% à 14,90 % qui correspond à la population issue de la parcelle R1 de Kondor et R4 de Désirée respectivement.

II.3.1.3.3.1.2.- Largeurs des kystes

Les mensurations de la largeur des kystes sont portées dans le tableau 30.

Tableau 30. Analyse descriptive de largeurs des kystes de *Globodera* appartenant à des parcelles de trois variétés de pomme de terre.

Variétés	Répétition	Effectif (kystes)	Largeur (µm)	Ecart-type	Valeurs extrêmes	Coefficient de variation (%)
Kondor	R1	30	347,24	25,86	301,96-379,20	7,44
	R2	30	351,25	42,96	250,86-472,87	12,23
	R3	30	319,27	39,63	230,83-372,25	12,41
	R4	30	308,57	38,95	249,01-379,88	12,62
Spunta	R1	30	381,11	52,83	295,48-496,00	13,86
	R2	30	388,61	42,10	290,87-453,17	10,83
	R3	30	378,63	45,13	305,47-494,23	11,91
	R4	30	378	57,40	251,52-489,78	15,18
Désirée	R1	30	389,42	45,73	276,16-447,96	11,74
	R2	30	383,69	38,07	270,79-447,21	9,92
	R3	30	386,15	52,27	285,06-491,55	13,53
	R4	30	372,76	53,35	299,17-490,45	14,31

Les moyennes de largeurs des kystes sont variables d'une population à une autre. Elles varient de 308,57 µm dans R4 de la variété Kondor à 389,42 µm dans R1 de la variété Désirée avec des écart-types respectifs de 38,95 et de 45,73. Les valeurs obtenues allant

de 245,01 à 496µm. Concernant les coefficients de variation, ils sont faibles allant de 7,44 à 15,18% qui correspondent à R1 de Kondor et R4 de Spunta respectivement, ce qui montre une faible variation de la largeur entre les kystes.

II.3.1.3.3.1.3.- Longueurs du cou des kystes

L'analyse descriptive de mensurations liées aux longueurs du cou des kystes de différentes populations est consignée dans le tableau 31.

Tableau 31. Analyse descriptive de longueurs du cou des kystes de *Globodera* appartenant à des parcelles de trois variétés de pomme de terre.

Variété	Répétition	Effectif (kystes)	Longueur du cou (µm)	Ecart-type	Valeurs extrêmes	Coefficient de variation (%)
Kondor	R1	30	29,92	4,20	24,04-40,2	14,03
	R2	30	28,79	4,18	18,98-40,4	14,51
	R3	30	31,57	4,25	26,25-40,56	13,46
	R4	30	31,71	5,31	19,16-43,16	16,74
Spunta	R1	30	32,02	5,34	19,10-41,77	16,67
	R2	30	29,67	5,02	24,71-44,42	16,91
	R3	30	31,33	4,58	24,09-40,59	14,61
	R4	30	31,71	5,50	19,01-43,2	14,34
Désirée	R1	30	39,32	6,02	25,76-47,27	15,31
	R2	30	36,31	4,62	28,14-44,42	12,72
	R3	30	32,37	4,54	23,84-40,59	14,02
	R4	30	34,86	4,84	24,89-45,15	13,88

Les longueurs moyennes du cou des kystes varient de 28,79µm chez R2 de la variété Kondor à 34,86µm chez R4 de Désirée avec des écart-types respectifs de 4,18 et de 4,84µm. Les moyennes calculées sont comprises entre une valeur minimale de l'ordre de 18,98 et maximale de l'ordre de 45,15µm. Comparativement les coefficients de variation, sont faibles et allant de 12,72 à 16,91% pour R2 de Désirée et R2 de Spunta respectivement ce qui indique une faible variabilité de la longueur du cou entre les kystes de nématode doré de la pomme de terre.

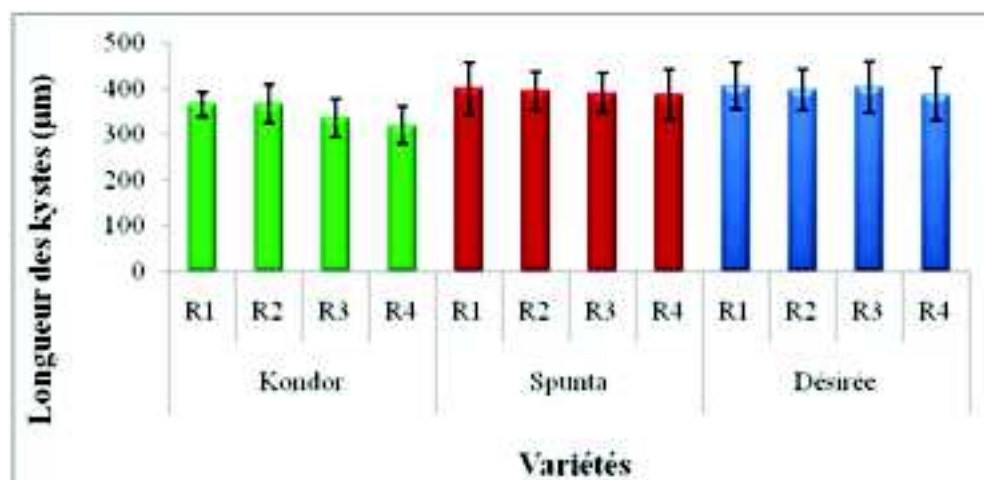


Fig. 61 - Moyennes des longueurs des kystes provenant de trois variétés de pomme de terre.

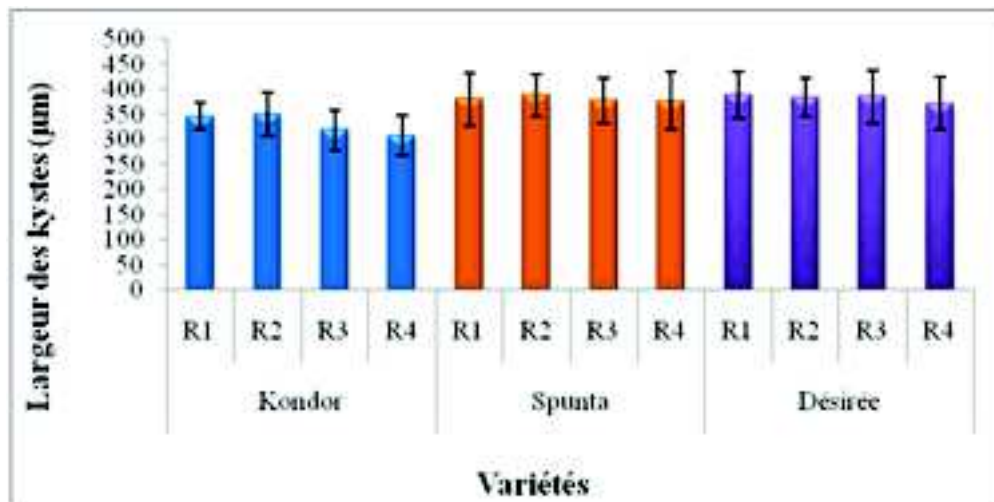


Fig. 62 - Moyennes des largeurs des kystes provenant de trois variétés de pomme de terre.

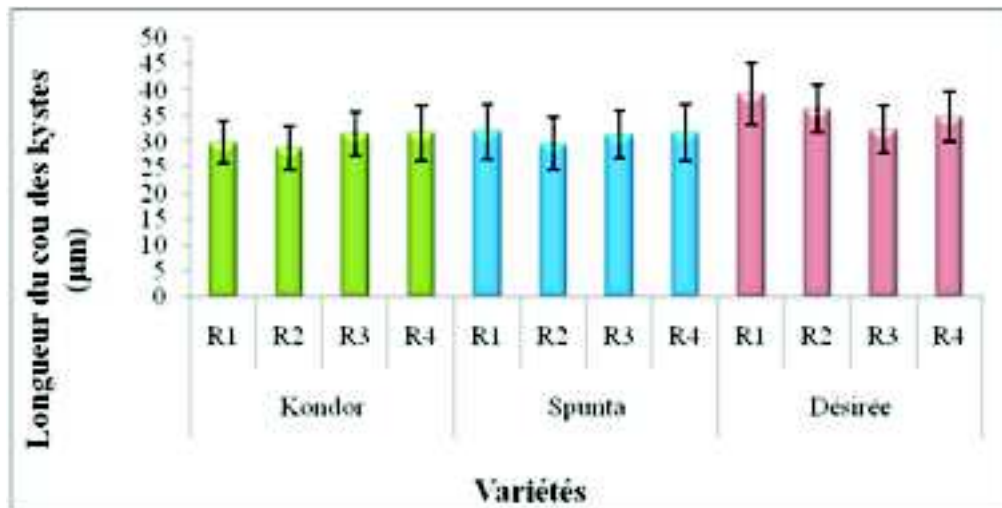


Fig. 63 – Moyennes des longueurs du cou des kystes appartenant à trois variétés de pomme de terre.

En ce qui concerne les moyennes calculées pour les mensurations des kystes de trois populations, on a constaté que les kystes qui appartiennent des parcelles de la variété Désirée présentent une taille importante ($L=399,28\mu\text{m}$; $l=383\mu\text{m}$; $LC=35,71\mu\text{m}$) par rapport à ceux provenant des parcelles de la variété Spunta ($L=393,44\mu\text{m}$; $l=381,58\mu\text{m}$; $LC=31,18\mu\text{m}$). Par contre, les kystes issus des parcelles de la variété Kondor présentent une petite taille ($L=347,39\mu\text{m}$; $l=331,58\mu\text{m}$; $LC=30,49\mu\text{m}$) (Fig. 64).

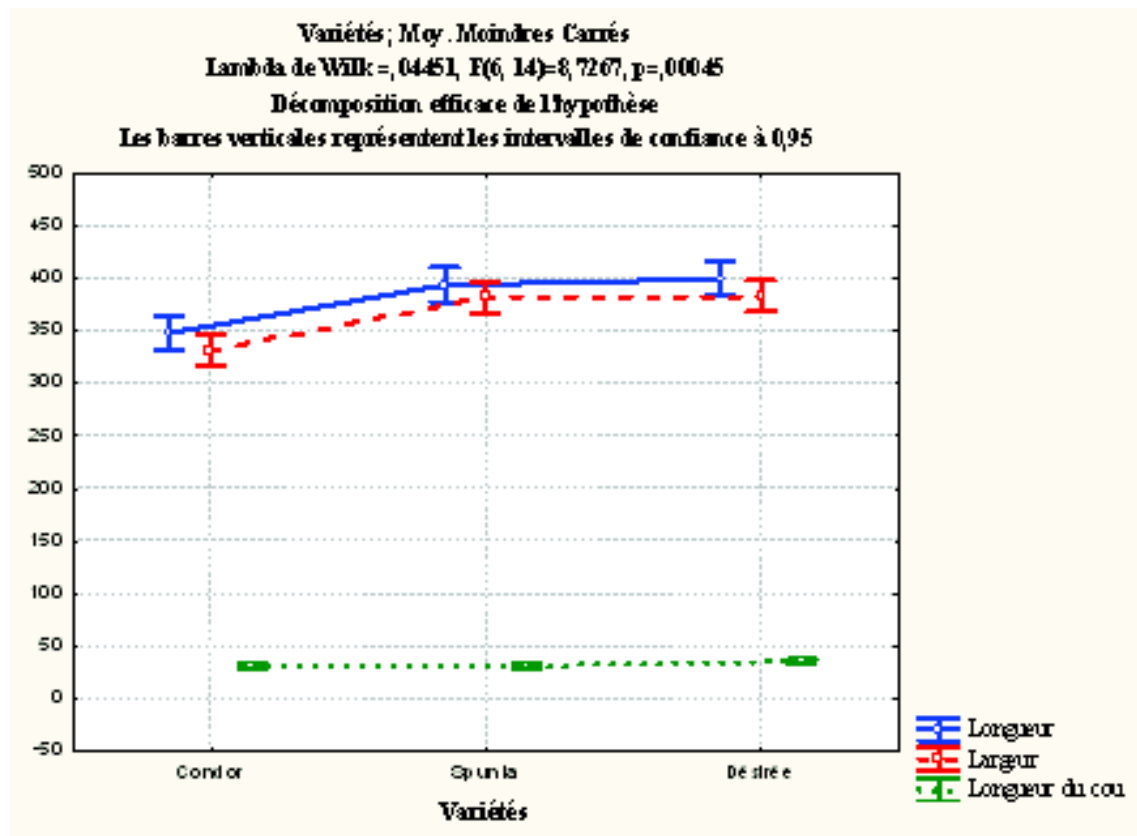


Fig. 64 - Comparaison des moyennes de mensurations des kystes de Globodera appartenant à trois populations.

II.3.1.3.3.2.- Analyse fréquentielle

Afin de tirer des informations plus fiables sur les classes des kystes de *Globodera* nous avons procédé à une analyse fréquentielle des mensurations qui ont été faites sur la longueur, la largeur et la longueur du cou des kystes de différentes populations.

II.3.1.3.3.2.1.- Longueurs des kystes

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 65.

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 65.

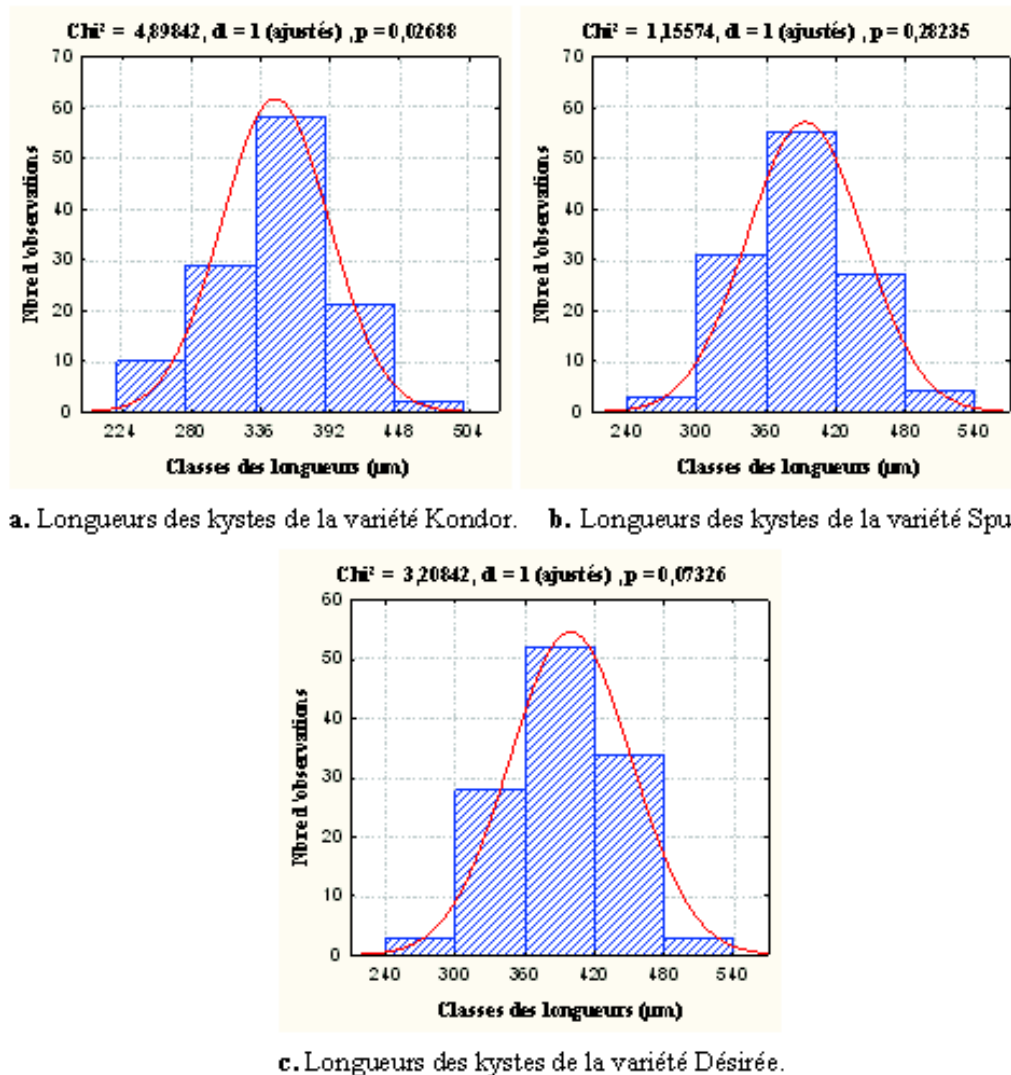


Fig. 65 - Analyse fréquentielle des longueurs des kystes provenant de trois variétés de pomme de terre.

L'analyse fréquentielle de longueurs des kystes, montre que les données recueillies s'ajustent à une loi normale avec une probabilité significative ($P=0,02688 < 0,05$) pour la population de la variété Kondor. Cependant, la probabilité calculée pour les autres populations ne montre pas de signification, elle est de l'ordre de 0,28235 et de 0,07326 respectivement pour Spunta et Désirée.

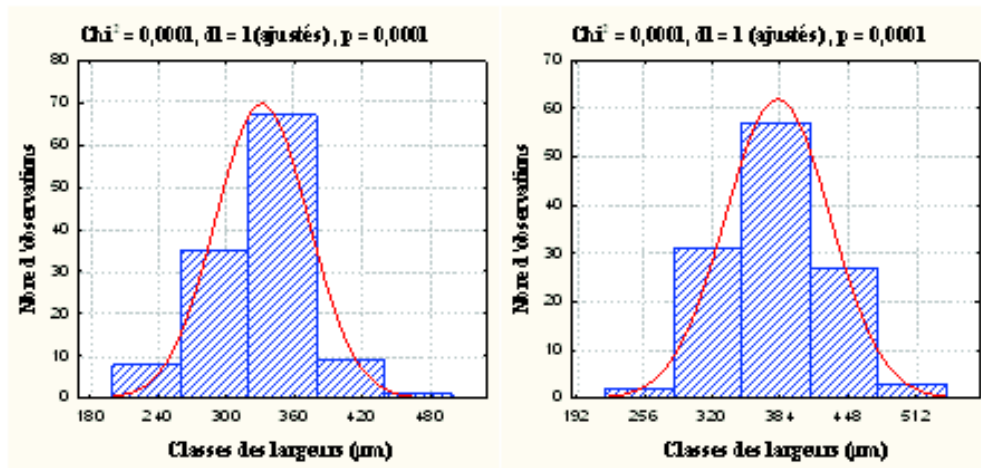
La grande proportion, soit 45,83% et 43,33% de la population respectif de Spunta et Désirée à des longueurs allant de 360 à 420 μ m. Elle est augmentée pour la population de Kondor, soit 48,33% de la population sa longueur varie de 323 à 388 μ m. Les valeurs des classes extrêmes sont limitées à une dizaine d'observation sur un effectif total de 120 mesures (4 lots de 30 kystes pour chaque variété considérée) (tableau 32).

Variété Kondor			Variété Spunta			Variété Désirée		
Classe	Observé	% observé	Classe	Observé	% observé	Classe	Observé	% observé
>276	10	8,33	>300	3	2,50	>300	3	2,50
276-332	29	24,16	300-360	31	25,83	300-360	28	23,33
332-388	58	48,33	360-420	55	45,83	360-420	52	43,33
388-444	21	17,50	420-480	27	22,50	420-480	34	28,33
<infini	2	1,66	<infini	4	3,33	<infini	3	2,50
Total	120	100%	Total	120	100%	Total	120	100%
P=0,02688			P=0,28235			P=0,07326		

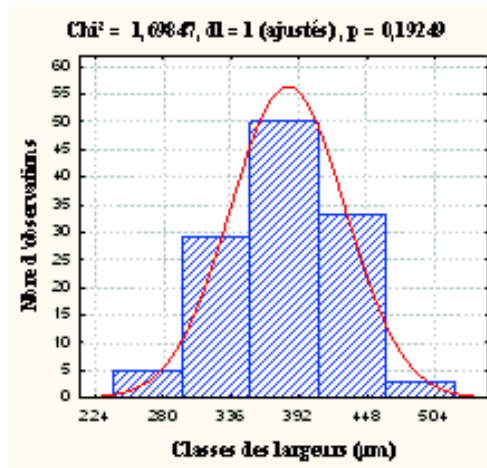
Tableau 32. Analyse fréquentielle de longueurs des kystes de *Globodera*.

II.3.1.3.3.2.2.- Largeurs des kystes

L'analyse fréquentielle de largeurs des kystes, représentée par la figure 66, montre que la courbe s'ajuste à une loi normale. Un effectif maximal de 67 kystes ayant des largeurs variables de 320 à 380µm pour la variété Kondor, 57 des cas ont des largeurs allant de 348 à 412µm pour la variété Spunta et 50 individus possèdent une largeur comprise entre 352 et 408µm. Au delà de ces valeurs les effectifs observés ne dépassent pas 35 cas par classe (tableau 34). La probabilité calculée est très hautement significative ($p=0,0001$) pour la population de Kondor et Spunta. Pour la variété Désirée la probabilité ne montre pas de signification ($P=0,19249$).



a. Largeurs des kystes de la variété Kondor. b. Largeurs des kystes de la variété Spunta.



b. Largeurs des kystes de la variété Désirée.

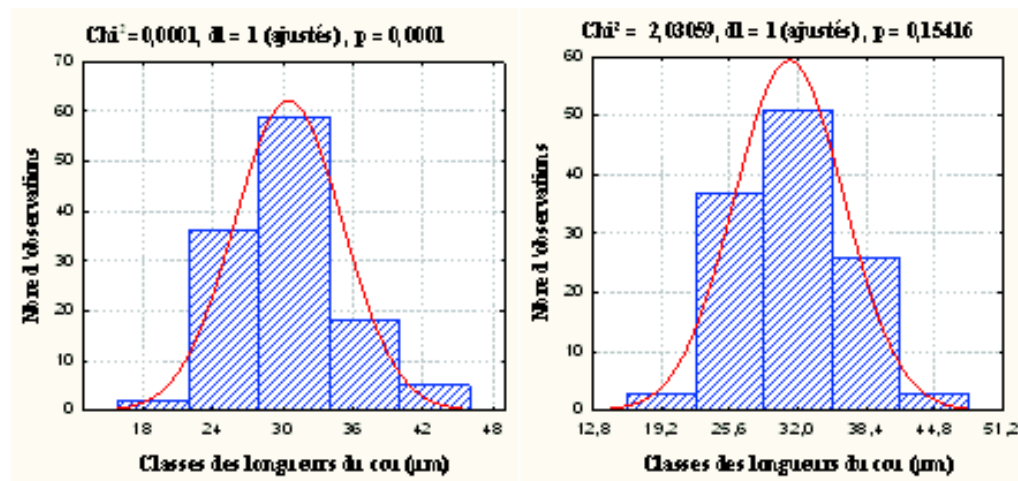
Fig. 66 - Analyse fréquentielle des largeurs des kystes de *Globodera* provenant de trois variétés de pomme de terre.

Variété Kondor			Variété Spunta			Variété Désirée		
Classe	Observé	% observé	Classe	observé	% observé	Classe	observé	% observé
>260	8	6,66	>284	2	1,66	>296	5	4,16
260-320	35	29,16	284-348	31	25,83	296-352	29	24,16
320-380	67	55,83	348-412	57	47,50	352-408	50	41,66
380-440	9	7,50	412-476	27	22,50	408-464	33	27,50
<infini	1	0,83	<infini	3	2,50	<infini	3	2,50
Total	120	100%	Total	120	100%	Total	120	100%
P=0,0001			P=0,0001			P=0,19249		

Tableau 33. Analyse fréquentielle de largeurs des kystes de *Globodera*.

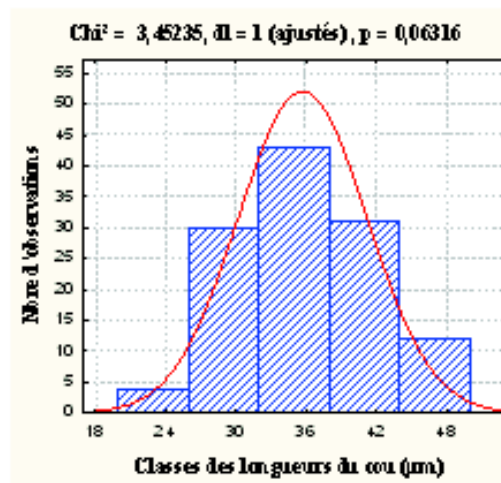
II.3.1.3.3.2.3.- Longueurs du cou des kystes

Le rapport d'analyse fréquentielle effectuée sur les longueurs du cou des kystes est présenté dans la figure 67.



a. Longueurs du cou des kystes (Kondor)

b. Longueurs du cou des kystes (Spunta).



c. Longueurs du cou des kystes (Désirée).

Fig. 67 - Analyse fréquentielle des longueurs du cou des kystes de Globodera provenant de trois variétés de pomme de terre.

L'analyse fréquentielle de la figure 67, portant sur la longueur du cou des kystes s'ajuste à une loi normale. La probabilité calculée est très hautement significative ($p=0,0001 < 0,001$) pour la population de la variété Kondor et non significative pour les deux autres populations elle est de 0,15 et de 0,06 respectivement pour Spunta et Désirée.

La classe la plus significative de longueurs du cou des kystes, est presque la même pour toutes les populations, elle est de 28 à 34 μm , de 28 à 35 μm et de 28,80 à 35,20 μm qui représente un taux de 59%, 42,50% et 35,83% de la population respectivement pour Kondor, Spunta et Désirée. Au-delà de ces valeurs, soit une grande proportion est représentée par les classes inférieures et une faible proportion est montrée par les classes supérieures.

Variété Kondor			Variété Spunta			Variété Désirée		
Classe	Observé	% observé	Classe	Observé	% observé	Classe	Observé	% observé
>22	2	1,66	>22	3	2,50	>22,40	4	3,33
22-28	36	30,00	22-28	37	30,83	22,40-28,80	33	25,00
28-34	59	49,00	28-35	51	42,50	28,80-35,20	43	35,83
34-40	18	15,16	35-41	26	21,66	35,20-41,60	31	25,83
<infini	5	4,16	<infini	3	2,50	<infini	12	10,00
Total	120	100%	Total	120	100%	Total	120	100%
P=0,0001			P=0,15416			P=0,06316		

Tableau 34. Analyse fréquentielle de longueurs du cou des kystes de *Globodera*.

II.3.1.3.3.- Analyse de la variance

Les résultats de mensurations des kystes présentent des aspects différents entre les populations. Dans ce qui suit nous rechercherons la signification des moyennes calculées séparément pour les variables ont été prises en considération. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 35.

Tableau 35. Analyse de la variance au seuil de 5% pour l'effet de variété sur la biométrie des kystes de *Globodera*.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Longueur	6332,739	2	3166,369	1925,011	9	213,8901	14,80372	0,001426**
Largeur	6862,377	2	3431,189	1540,774	9	171,1971	20,04233	0,000484***
Longueur du cou	64,313	2	32,157	34,429	9	3,8254	8,40610	0,008727**

Sur les trois variables considérées, deux sont hautement significatives. Il s'agit de "la longueur" et de "la longueur du cou", qui présentent des probabilités respectives de $p=0,001426$ et de $p=0,008727$. La comparaison de la largeur des kystes montre une probabilité très hautement significative ($p=0,000484<0,001$). Ceci montre en grande partie l'effet de la variété sur la taille des kystes.

Test de Newman-Keuls

L'analyse de variance est complétée par le test de Newman-Keuls, dont le but de comparer les moyennes. Les résultats du test sont mentionnés dans les tableaux 36, 37 et 38.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 213,89 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Kondor	347,8925		****
2	Spunta	393,4425	****	
3	Désirée	399,2800	****	

Tableau 36. Résultats du test de Newman-Keuls sur la longueur des kystes de *Globodera*.

Les moyennes de longueurs des kystes sont divisées en deux groupes. Celle de la variété Désirée et de Spunta se trouve dans le premier groupe avec une valeur respective de 399,28µm et 393,44µm. Le deuxième groupe renferme la longueur moyenne des kystes de la variété Kondor, qui est faible (347,89µm).

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 171,20 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Kondor	331,5825		****
2	Spunta	381,5875	****	
3	Désirée	383,0050	****	

Tableau 37. Résultats du test de Newman-Keuls sur la largeur des kystes de *Globodera*.

Le test de Newman-Keuls de tableau 33, portant sur la largeur des kystes, met en évidence deux groupes homogènes, le premier regroupe la largeur des kystes de la population Désirée et Spunta avec des moyennes respectives de 383,00µm et de 381,58µm. Le second présente une seule moyenne et faible qui correspond à la population de Kondor (331,58µm).

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 3,8254 ; dl = 9			
	Variété	Moyenne	1	2
1	Kondor	30,49750	****	
2	Spunta	31,18250	****	
3	Désirée	35,71500		****

Tableau 38. Résultats du test de Newman-Keuls au seuil de 5% sur la longueur du cou des kystes.

Le test de Newman-Keuls sur la longueur du cou des kystes, montre la formation de deux groupes homogènes, le premier regroupe la population de Kondor et de Spunta avec des moyennes faibles qui sont de l'ordre de 30,49 et de 31,18µm respectivement. Par contre, la population de Désirée présente une moyenne élevée (35,71µm), ce qui permet de la trouver dans le deuxième groupe.

Sur la base des résultats précités, il est apparu nettement que les kystes de *Globodera* qui appartiennent des parcelles de la variété Désirée sont caractérisés par une grande taille (longueur, largeur et longueur du cou).

II.3.1.3.3.4.- Analyse multivariée entre les variables considérées

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence de la variété sur les mensurations des kystes. Dans le but de voir les relations qui existent entre les variables ont été prises en considération, nous avons appliqué une analyse en composantes principale (ACP).

Toutes les variables contribuent d'une façon importante à l'ACP (Tableau 39). En effet, la contribution des variables longueur, largeur et longueur du cou, est de l'ordre de 0,37%, 0,36% et 0,26% respectivement pour l'axe 1, et de 0,09%, 0,17% et 0,73% respectivement pour l'axe 2.

Tableau 39. Les communautés des variables ou la qualité de représentation des différentes variables soumises à l'ACP.

Variable	Avec 1 facteur	Avec 2 facteurs
Longueur	0,958029	1,000000
Largeur	0,920383	1,000000
Longueur du cou	0,667182	1,000000

Deux facteurs ayant une valeur propre égale à 1 sont retenus pour l'ACP sur la base du critère de Kaiser. Le tracé des valeurs propres (Fig. 68) montre qu'au delà de deux facteurs la pente du tracé des valeurs propres change et les valeurs semblent s'équilibrer à droite du tracé ne présentant que des "éboulis factoriels". Le tracé des valeurs propres semble confirmer le choix de 2 facteurs principaux pour définir l'ACP.

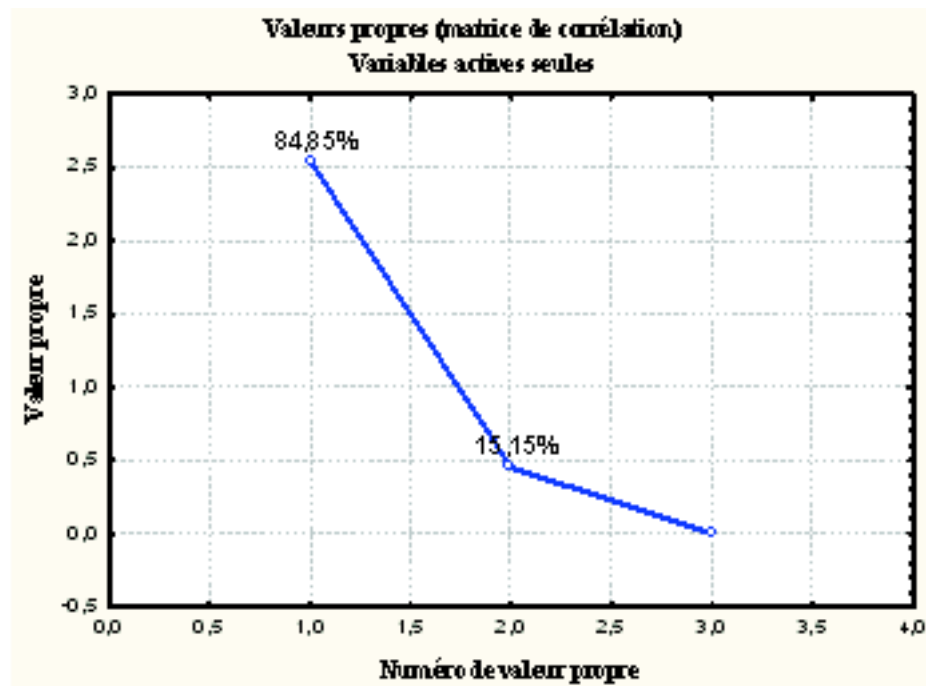


Fig. 68 - Traçage des valeurs propres.

L'ACP effectuée explique toute la variabilité (100%). Le premier axe factoriel explique 84,85% de la variabilité totale, le deuxième axe extrait par l'ACP explique seulement 15,15%. Le premier axe factoriel est corrélé positivement à toutes les variables, le facteur 2 extrait par l'ACP est moyennement associé à la variable "longueur du cou" (tableau 40).

Tableau 40. Coordonnées des variables mesurées dans le repère défini par les différents facteurs retenus par l'ACP.

Variable	Facteur 1	Facteur 2
Longueur	0,978790	-0,204867
Largeur	0,959366	-0,282166
Longueur du cou	0,816812	0,576904

La corrélation entre les variables est récapitulée dans le tableau 41.

Variable	Corrélations		
	Longueur	Largeur	Longueur du cou
Longueur	1,000000	0,996824	0,681298
Largeur	0,996824	1,000000	0,620839
Longueur du cou	0,681298	0,620839	1,000000

Tableau 41. Matrice de corrélation entre les variables étudiées.

La matrice de corrélation de tableau 41, montre que les valeurs de (r) sont presque toutes proche de 1, ce qui nous a permis de dire qu'il existe une corrélation entre les variables étudiées.

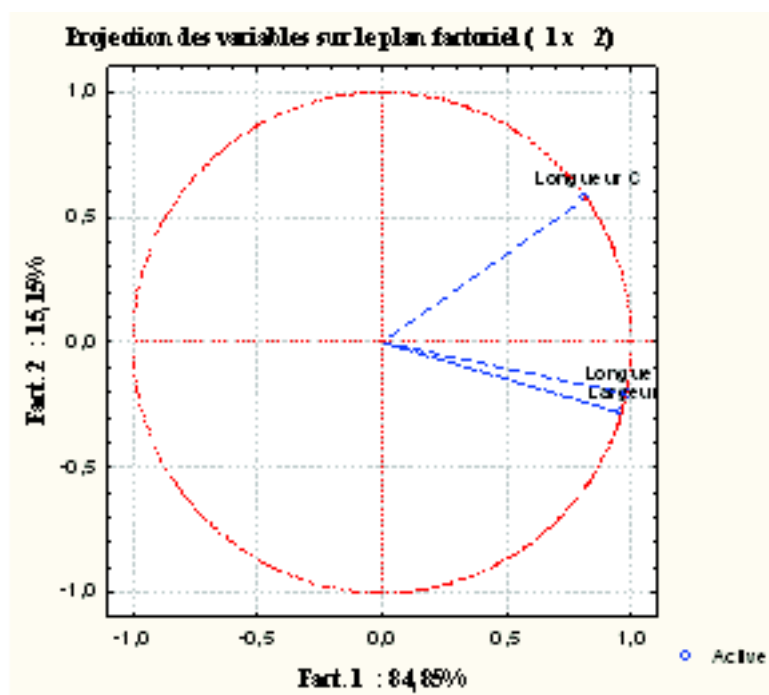


Fig. 69 - Analyse en composantes principales (ACP) relativement aux tables de contingence reliant les variables biométriques des kystes.

La synthèse des résultats représentés par la figure 69 fait ressortir que la longueur et la largeur des kystes sont en relation proportionnelle positive ($r=0,99\approx 1$), mais la corrélation entre la longueur du cou et la longueur est moyenne proportionnelle ($r=0,68\approx 0,5$). De même, la corrélation est moyenne proportionnelle entre la longueur du cou et la largeur ($r=0,62\approx 0,5$).

Afin de tirer des renseignements sur la corrélation entre les variétés étudiées, nous avons procédé à la présentation de celles-ci sur le plan factoriel (1x2). La contribution des variétés dans la formation de facteur 1 est de l'ordre de 60,45%, 36,56% et 2,98% respectif pour Kondor, Désirée et Spunta. Mais pour l'axe 2, elle est de 63,67%, 30,10% et 6,21% pour Spunta, Désirée et Kondor respectivement.

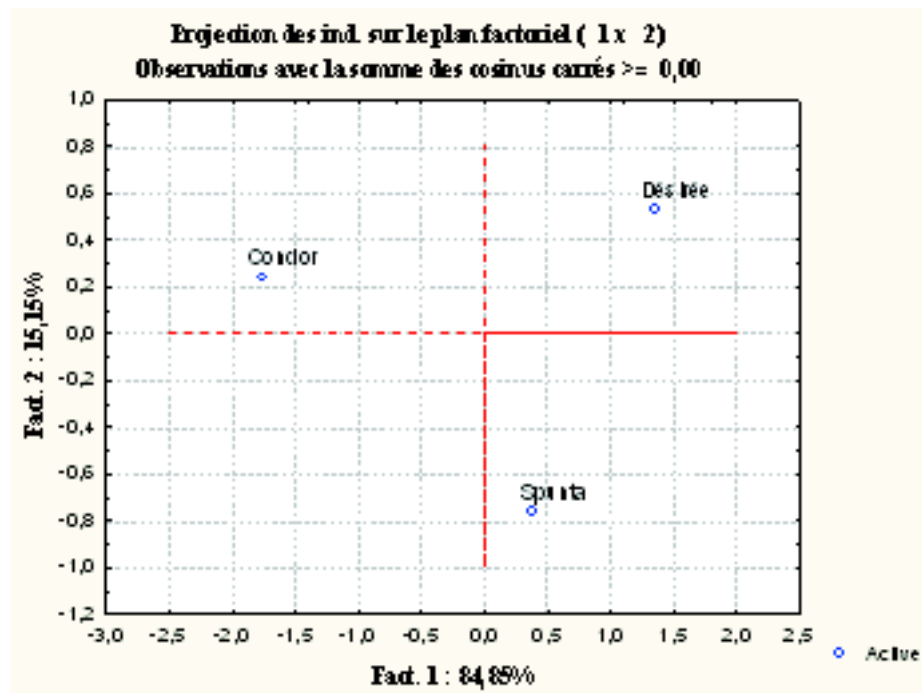


Fig. 70 - Répartition des variétés de pomme de terre sur le plan factoriel (1x2) en relation avec les variables liées aux mensurations des kystes.

La présentation graphique des individus (les variétés) sur le plan factoriel (1x2), montre que chaque variété se trouve dans un quadrant, ce qui permet de dire qu'il n'y a pas une corrélation entre elles en fonction des variables biométriques ont été prises en considération.

II.3.1.3.3.5.- Classification hiérarchique des variables considérées

Le diagramme vertical de l'arbre retraçant l'agrégation successive des objets est représentée par la figure 71.

La distance d'agrégation en fonction des étapes consécutives montre qu'elle regroupe la similarité des variables voisines, longueur et largeurs des kystes qui représentent la première classe. C'est logique, parce que les kystes présentent une forme arrondie ou globulaire, donc il est forcément la longueur des kystes est liée à sa largeur. La seconde classe regroupe ces deux variables avec la longueur du cou. Le cou est un petit pédoncule de kyste qui sert à la fixation de ce dernier sur les racines de l'hôte, donc il est automatiquement lié aux variables longueur et largeur.

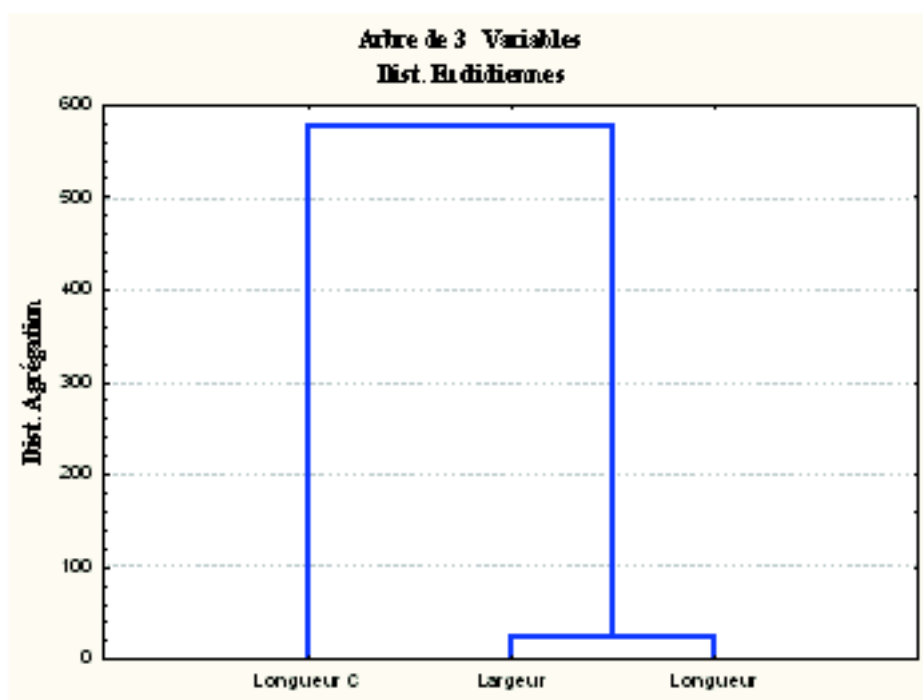


Fig. 71 – Classification hiérarchique des variables liées aux mensurations des kystes.

II.3.2.- Discussion

Les résultats de la présente expérimentation confirment l'importance des variétés cultivées sur la multiplication et l'intensité de nématode doré de la pomme de terre (Belhadj Ben yahia, 2007 et Hajihassani *et al.*, 2013). Malgré l'utilisation d'un nombre limité et inégale de kystes (conditions naturelles), dans chaque répétition, on a trouvé une variation du nombre de kystes pleins entre la période avant la plantation de la culture et après la récolte pour chaque variété testée. Le nombre moyen de kystes décroît de 6,5 à 0,5 kystes/kg de sol pour la variété Kondor avec une différence significative. Les effectifs de kystes s'étagent de 2,75 à 6,5 kystes/kg de sol et de 5,75 à 21,5 kystes/kg de sol respectifs pour la variété Spunta et Désirée avec une différence significative pour la Désirée et non significative pour Spunta.

La diminution de l'effectif de kystes chez la variété Kondor, pourrai traduire par sa faible capacité de multiplier les larves de ce parasite et se transformer en femelles. En Algérie, la sensibilité de celle-ci n'a pas été étudiée auparavant. Mais l'effet de la variété résistance sur les populations de nématode doré a été démontré par plusieurs auteurs. D'après Brodie (1996), l'utilisation des cultivars résistants dans les rotations des cultures peuvent réduire le nombre des œufs au dessous de 0,2 œuf/g de sol pour une densité initiale de 1 œuf/g de sol pendant deux ans successives d'utilisation de cultivar résistant. Selon Halsetch (2006) cité par Mazouz (2011), a chaque saison d'utilisation d'un cultivar résistant, la population d'œufs viables dans le sol décroît de 90-95 %. D'autant plus, les résultats de Turcotte *et al.* (2013) ont montré une évolution au champ des populations de nématode à kyste de la pomme de terre en présence d'une pression constante de variétés résistantes (H1) à *G. rostochiensis* sur une période de 4-5 ans a été suivie sur les sites expérimentaux de St-Amable et St-Hyacinthe (Québec). En moyenne, les nombres d'œufs viables de *G. rostochiensis* ont chuté annuellement de 87% et 63% respectivement à St-Amable et à St-Hyacinthe entre 2008 et 2012 inclusivement. Au cours de cette même période, les nombres de kystes par gramme de sol se sont maintenus entre 0,97 et 1,99 à St-Amable et entre 1,96 et 2,36 à St-Hyacinthe.

Selon les mêmes auteurs, sur le site de St-Amable, une année de pomme de terre résistante (cultivar Andover) a réduit de 83, 95, et 62% le nombre d'œufs viables respectivement en 2010, 2011 et 2012. Pour la rotation de deux et trois années consécutives de pomme de terre résistante (cultivar Andover) a réduit respectivement moyenne de 97% et 98% le nombre d'œufs viables.

Cependant, l'augmentation des effectifs de kystes pleins chez les deux autres variétés (Spunta et Désirée) pourraient s'expliquer par leurs sensibilités à ce nématode. De même, on a constaté que la variation est plus importante chez la Désirée que Spunta. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Belhadj Ben yahia (2007), qui indiquent que le nombre de kystes néoformés est important (1,6 kystes) chez la variété Désirée par rapport à Spunta (1,2 kystes) sur la culture en pots avec six kystes/pot et qu'a été réalisé pendant 14 semaine dans un incubateur. Ceux des autres auteurs témoignant que ces deux variétés sont sensibles aux *Globodera*. Evans (1993) a noté que la variété Désirée est un cultivar très sensible aux nématodes dorés. D'après Nugaliyadde et Perera(1994) le développement des larves en femelles matures était observé chez la variété Désirée se qui signifie que c'est une bonne hôte pour ce parasite. Alors que Ziouani et Boukhelifa en 1994, ont marqué une éclosion massive des larves atteignant ainsi 291 larve par kyste, dans les exsudats racinaire de la variété Désirée de la pomme de terre à une température ambiante égale à 13,1°C durant les deux mois ; mars et avril. En outre, Hlaoua *et al.* (2010) avait préalablement constaté que la variété Spunta est sensible aux *Globodera rostochiensis* et *G.pallida*. Hajihassani *et al.* (2013) ont noté une augmentation des densités de population initiale du *G. rostochiensis* sur le cultivar Spunta dans le sol pour deux expériences en pots avec et sans le nématicide aldicarbe (G 10%).

Il semble que la variété Désirée est la plus multiplicatrice de ce nématode phytophage que la variété Spunta. Cela confirme les résultats de Belhadj Ben yahia (2007), qui ont montré que le taux de multiplication est de 0,27 pour la Désirée et de 0,20 pour Spunta. Par contre la variété Kondor est moins sensible à ce parasite. Il existe une légère différence du taux de multiplication de ce parasite entre les variétés étudiées mais non significative. Il est de l'ordre de 0,07, 2,36 et 3,73 respectivement pour la variété Kondor, Spunta et Désirée. Nos résultats sur la multiplication de la variété Désirée (3,73) sont complètement différents de ceux obtenus par Evans (1993), qui varient de 19,5 à 24,5.

Cette expérimentation montre également une augmentation du nombre de kystes vides pour chaque variété étudiée, mais avec une différence non significative pour chaque une. Il passe de 132,25 à 158,2 ; de 119,5 à 132,25 et de 178,75 à 248,25 kystes/kg de sol. Ceci s'explique par l'éclosion des kystes pleins sous l'influence des exsudats racinaires de la plante hôte qui est la pomme de terre et les conditions de milieu (température et humidité).

L'infestation de la culture de la pomme de terre par les nématodes *Globodera* sp., est liée aux différents facteurs, parmi ces on cite les conditions pédo-climatiques, le système de culture et la variété utilisée. Relatif à notre essai, on remarque que presque toutes les conditions sont semblables pour toutes les parcelles, sauf le type de la variété cultivée. Ce dernier pourrait être responsable de l'état d'infestation.

L'effet de nématode sur les paramètres de croissance de trois variétés de pomme de terre montre que ce parasite influe sur la qualité de production mesurée par le poids moyen de tubercules en gramme, sur le poids moyen des tubercules par plant en kilogramme et sur le rendement en qx/ha, voire que l'effet sur la quantité de production en tubercules des plants de pomme de terre est négligeable.

Concernant le rendement, la corrélation est négative avec le degré d'infestation. Cette étude a confirmé aussi les résultats de Hlaoua *et al.* (2010) qui ont montré une corrélation négative entre la population de ce ravageur et le niveau de production de la culture de pomme de terre. D'ailleurs selon Greco (1988), les pertes de rendement peuvent aller de 20% à 70% selon la densité initiale de la population. Leveillard (2011) a montré que les pertes peuvent être de l'ordre de 50% de la production et jusqu'à 80% de la récolte peut être perdue (CABI et OEPP, 1990). Les résultats des travaux de Turcotte *et al.* (2013) concernant l'évaluation de la tolérance selon trois niveaux d'infestation de nématodes dorés effectuée à St-Amable (Québec) en champ en 2011 et 2012, a révélé que les rendements de pomme de terre résistante ont été significativement affectés par la densité initiale de *G. rostochiensis*. Dans les parcelles contenant une densité initiale de 5 œufs viables par gramme de sol, le poids total de pomme de terre "cultivar Andover" a été réduit de 52% en 2011 et de 26% en 2012 alors que le "cultivar Red Maria" a été réduit de 44% en 2011 et 30% en 2012. Mugniéry *et al.* (1988) cité par Hlaoua *et al.* (2010) ont de même trouvé que la production est parfois inférieure au poids des tubercules plantés. Cette réduction est variable selon certains facteurs (la région, la saison, les pratiques de culture).

De même, notre résultat relatif à la corrélation négative entre le poids moyen des tubercules et le degré d'infestation de ce parasite, confirme les résultats de Hlaoua *et al.* (2010). Mugniéry *et al.* (1988) cité par Hlaoua *et al.* (2010) ont de même trouvé que les tubercules sont petits et peu nombreux. Dans la présente étude nous avons trouvé un faible nombre moyen de tubercule par plant dans l'ensemble des variétés, mais la différence est non significative. Ainsi le degré d'infestation ne présente aucun effet sur cette variable. Donc c'est possible c'est un caractère variétale ou bien lié aux d'autres facteurs (pédo-climatique par exemple).

Les symptômes d'attaque de ce nématode qui ont été observées au niveau de différentes parcelles (une végétation faible sous forme de taches plus ou moins circulaires au milieu d'une culture d'apparence normale) sont similaires à celles décrites par Rousselle *et al.* en 1996.

L'étude morphologique des kystes des populations étudiées montre qu'il y a une différence dans la forme (globuleuse ou arrondi). Pour la couleur la même chose, allons du marron foncée au plus clair avec des nuances dorées. Ces résultats sont comparables aux ceux trouvés par Salam Attia (2010) ; Djebroune (2011) et Baloul (2012). Les kystes de couleur marron représentent les vieilles femelles et les kystes de couleur dorée représentent les femelles néoformées (Desgarennés *et al.*, 2006).

Pour étudier les paramètres considérés (longueur, largeur et longueur du cou) nous avons réalisé une analyse en composante principale (ACP). Les résultats montrent qu'il y a une corrélation proportionnelle positive entre la longueur et la largeur. Par contre, la corrélation entre la longueur du cou et la largeur ou bien entre la longueur du cou et la longueur est moyennement proportionnelle positive. Ces résultats est comparable à ceux trouvés par Baloul en 2012. Mais aussi les résultats montrent que les populations de trois variétés ne présentent pas des ressemblances entre elles de point de vue de ces paramètres et l'analyse de la variance montre une différence significative. Cela ne veut pas forcément dire qu'il s'agit d'espèce différentes, surtout si l'on juge par la forme et la couleur qui ne laisse pensée qu'il s'agit bien de l'espèce *Globodera rostochiensis*, dans les trois variétés étudiées. D'autant plus, Mulvey et Golden (1983) ont montré que même les populations de la même espèce peuvent présenter des différences dans la taille des kystes si il provienne de région différent, par exemple pour les populations canadiennes, ils ont trouvées que la largeur varie de 310 à 550µm, pour les populations allemandes elle varie de 250 à 810µm,

alors qu'elles sont de 382µm avec un écart-type de 61µm pour les populations anglaises. Pour la longueur, ils ont trouvé qu'elles varient de 360 à 650µm pour les populations canadiennes, de 450 à 990µm pour les populations allemandes, alors qu'elles sont de 445 avec un écart-type de 50µm pour les populations anglaises.

La variabilité de la taille des kystes concerne la longueur, la largeur et longueur du cou. La moyenne des longueurs dans la variété Désirée s'élève à 399,28µm avec un écart-type de 8,49 alors que dans la variété Spunta et Kondor les moyennes respectives sont de 393,44 et 347,89µm avec des écarts-types respectifs de 5,52 et de 23,21. Ces valeurs sont très proches aux valeurs définies pour l'espèce *Globodera rostochiensis* par Mulvey et Golden (1983) qui sont de 445µm avec un écart-type de 50. Par contre, ces valeurs sont très largement inférieures de celles définies pour l'espèce *Globodera pallida* qui sont de 579µm pour la moyenne avec un écart-type de 70.

Concernant les moyennes de largeurs des kystes, sont de 383±7,22µm, 381,58±4,87µm et 331,58±20,92 pour les variétés Désirée, Spunta et Kondor respectivement sont très proches aux valeurs définies pour l'espèce *Globodera rostochiensis* par Mulvey et Golden (1983) qui sont de 382µm avec un écart-type de 61. Comme pour la longueur ces valeurs restent toujours supérieures de celles définies pour l'espèce *Globodera pallida* qui sont de 534µm pour la moyenne avec un écart-type de 66.

Cependant, les moyennes de longueurs du cou de nos populations sont de 35,71±2,90µm, 31,18±1,04µm et 30,49±1,39µm pour les variétés Désirée, Spunta et Kondor respectivement. Ces valeurs sont largement inférieures aux valeurs définies par Mulvey et Golden (1983) qui sont de 104µm pour l'espèce *Globodera rostochiensis* et 118µm pour l'espèce *Globodera pallida*, mais s'approchent aux valeurs trouvées par Baloul en 2012, qui sont de 30µm, 28µm, 30µm et 45µm pour les régions d'Ain Defla, Bouira, Chlef et Khemis-Miliana respectivement.

La variabilité de la taille des kystes de *Globodera* entre les populations en provenance des parcelles de différentes variétés, peut être causée principalement par le type de la variété qui met en place, c'est à dire elle permet un bon développement ou non les femelles de nématode.

Les résultats du dénombrement des œufs des kystes pleins de deux populations de *Globodera*, montrent que le nombre d'œufs varie d'une population à une autre voire d'un kyste à l'autre. De même, les kystes de la population de la variété Désirée présentent un nombre important de l'ordre de 461,23 œufs/kyste [297-718] que ceux qui appartenant à la parcelle de la variété Spunta qui est de 367,72 œufs/kyste [122-559] avec une différence hautement significative. Ces résultats se rapprochent de ceux trouvés par différents auteurs. Wolfgang (1991), a montré que nombre d'œufs chez *Globodera* sp. est de 200 à 300 œufs/kyste, alors que Grico (1988) ce nombre varie entre 200 et 600, et de 200 à 500 d'après Evans (1993). Selon Franco (1994) et Perry (1998), le nombre d'œufs allant de 100 à 600. Cette variabilité du nombre d'œufs/kyste entre ces deux populations, pourrai résulter des variétés cultivées qui favorise ou défavorisent la fécondité des femelles, c'est-à-dire leurs sensibilités à ce parasite. Etant donné que le dénombrement des œufs par kyste peut permettre d'estimer la virulence des populations aussi bien que la résistance ou la sensibilité des variétés utilisées et le pouvoir de multiplication des nématodes, les résultats de la présente étude permettent de confirmer que la variété Désirée est la plus sensible au nématode doré de pomme de terre que la variété Spunta.

L'interprétation de la variabilité des caractéristiques des populations nous permettent de régler quelques facteurs comme l'utilisation des cultivars moins sensibles au nématode

pour avoir une population de petite taille avec un nombre d'œufs faible ce qui diminue l'agressivité de ces parasites ou bien des variétés résistantes afin d'assainir la parcelle de toutes sources de contamination et pourquoi pas. Mais dans tous les cas il faut associer avec d'autres facteurs afin de gérer les problèmes dus à ces nématodes.

L'identification des espèces au sein du genre *Globodera* est basée sur les caractères morphologiques et morphométriques des kystes, et ceux-ci sont inclus dans la plupart des clés d'identification. Les méthodes morphométriques sont rapides et peuvent être appliquées à la plupart des échantillons, mais elles exigent un spécialiste qualifié et expérimenté. En outre, certains caractères morphométriques peuvent se chevaucher entre les populations et entre les espèces, ce qui conduit à l'identification inexacte. Pour confirmer et compléter l'identification morphométrique de *Globodera*, les méthodes moléculaires sont avérées intéressantes.

L'étude de la sensibilité de trois variétés de pomme de terre vis-à-vis à ces nématodes en conditions naturelles présente des résultats pratiques et utiles pour le développement de la filière de pomme de terre en Algérie. Les trois variétés testées sont différentes du point de vue comportement contre ces parasites. Cette étude révèle que la variété Kondor est moins sensible que la variété Spunta et Désirée. D'autres études sont nécessaires pour approfondir les connaissances sur le complexe plante-nématode ; elles pourraient conforter ces résultats. De même, il est nécessaire un élargissement des études avec d'autres variétés et dans des régions aux climats différents.

Chapitre III Infestation et répartition des nématodes à kystes du genre *Globodera* dans quelques parcelles de pomme de terre (variété : Spunta) à Ain Defla.

Les dégâts dus aux nématodes à kyste *Globodera* sp. sur pomme de terre passent souvent inaperçus et les symptômes qu'ils occasionnent sont peu spécifiques, l'analyse nématologique reste le seul moyen de diagnostic qui permet d'évaluer l'état d'infestation des plantations par ces ravageurs. Pour cela, des prospections ont été effectuées dans les parcelles de la pomme de terre de la wilaya d'Ain-Defla ; région de production de la pomme de terre par excellence.

L'analyse nématologique est basée sur un échantillonnage de sol permettant la recherche des kystes de nématodes.

III.1.- Objectifs de l'étude

Les principaux objectifs retenus se résument comme suit :

- Détecter la présence de *Globodera* sur un certain nombre de parcelles de pomme de terre (variété : Spunta) dans quelques communes de la région d'Ain-Defla.
- Evaluation du degré d'infestation des parcelles de pomme de terre par ce nématode, et avoir une idée sur la répartition de ce dernier dans ces parcelles.
- Etudier la relation entre le rendement de la pomme de terre et la densité de population du nématode dans le sol.

- Recherche sur l'influence des conditions de culture sur le développement du nématode.
- La proposition d'intervention efficace par des procédés cultureux sans faire appel à l'utilisation de nématicides dont les inconvénients ne sont plus à démontrer.

III.2.- Matériels et méthodes

III.2.1.- Choix des parcelles

L'étude a été conduite dans 16 communes potentielles de la production de la pomme de terre au niveau de la wilaya d'Ain-Defla. Il s'agit de : El Abadia, El Amra, Rouina, Ain Defla, Bourached, Attaf, Mekhatria, Arib, Ain Bouyahia, Bir Oueld Khelifa, Bordj Emir Khaled, Djendel, Ain Lecheikh, Ain Soltane, Tark Ibn Ziad et Bathia. Ces communes sont situées au Centre, au Nord, au Sud, à l'Est et à l'Ouest de la wilaya (Fig. 72).

En outre, seulement les parcelles de la variété Spunta ont été choisies (c'est la variété la plus cultivée par les agriculteurs d'Ain Defla) à raison de trois parcelles par commune.

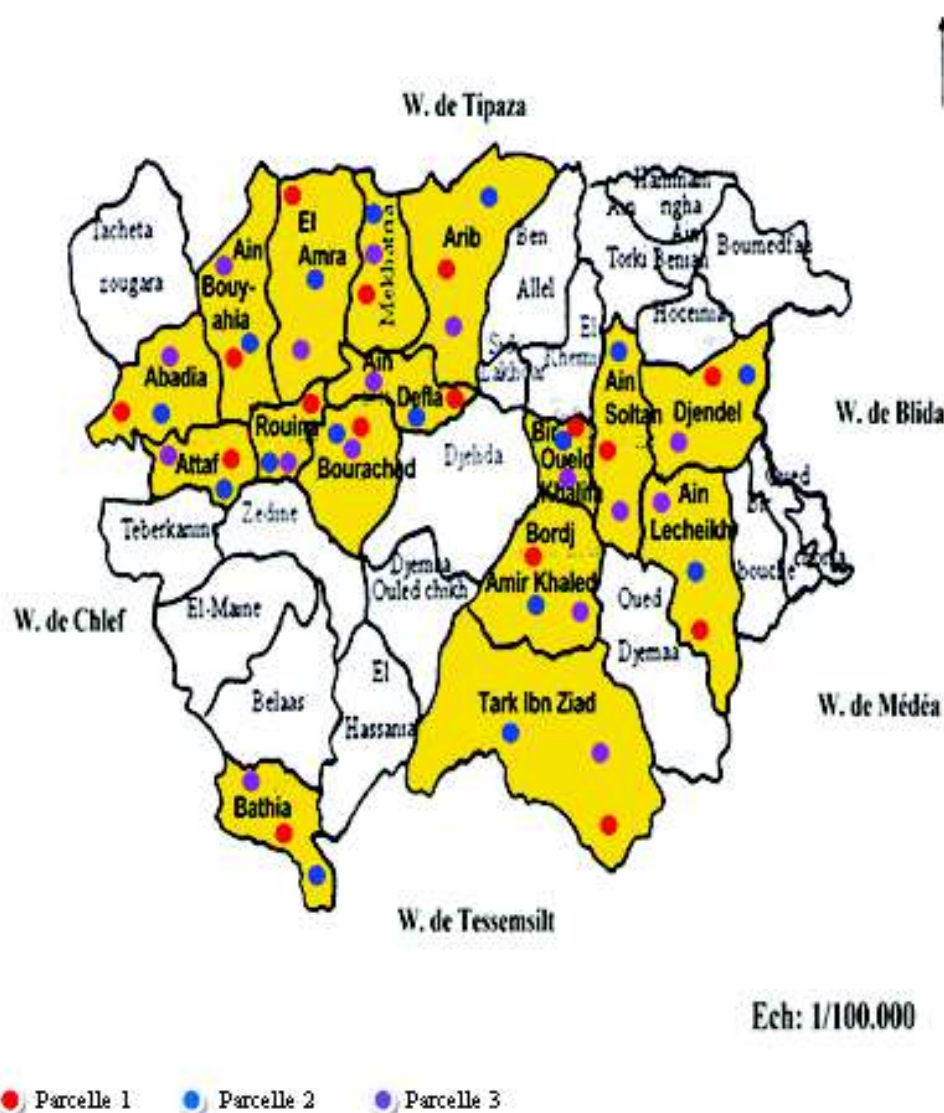


Fig. 72 - Localisation des communes concernées par l'étude et les parcelles prospectées.

III.2.2.- Analyse nématologique

Des enquêtes préalables ont été effectuées auprès des producteurs de pomme de terre dans différentes communes de culture de la pomme de terre d'arrière saison à Ain Defla pendant la période allant de janvier à mars 2013. Un kilogramme de sol par échantillon a été prélevé dans 48 parcelles représentatives de la zone d'étude.

Les données relatives à la production (rendement), la superficie, la nature du sol, le mode d'irrigation, le précédent cultural, origine de la semence, la fertilisation, les différents traitements et les maladies présentes sont indiquées pour chaque parcelle visitée.

Les échantillons de sol sont prélevés après la récolte de pomme de terre. Pour le prélèvement du sol, les parcelles sont préalablement subdivisées en parcelles élémentaires (parce qu'il s'agit de grande superficie) approximativement de même superficie qui sont par la suite échantillonnées séparément. L'échantillon d'environ 1 kg de sol consiste à

rassembler plusieurs prélèvements (10 à 30) effectués dans différents emplacements dans la même parcelle élémentaire pour représenter la totalité de la superficie (McSorley, 2000 in Hlaoua *et al.*, 2010) et à des profondeurs allant de 10 à 30 cm et selon le schéma de la figure 73. L'échantillon de sol porte la date du prélèvement, le lieu et le numéro de la parcelle. Au laboratoire, le sol est préalablement séché puis pesé afin de procéder à l'extraction des kystes.

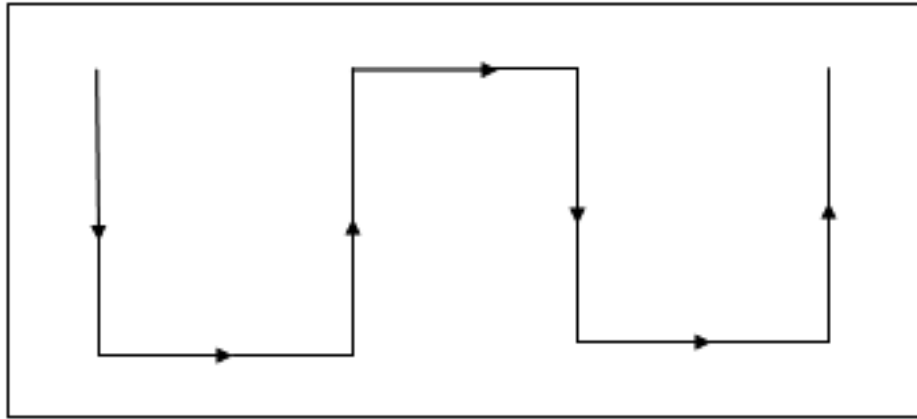


Fig. 73 - Méthode de prélèvement des échantillons élémentaires du sol (Mokabli, com. pers.)

Les échantillons de sol, sont analysés par la technique de Fenwick (qui a été citée préalablement) pour récupérer les kystes séchés de *Globodera*. Les données relatives aux échantillons prélevés sont regroupées dans le tableau 42.

Contribution à l'étude de la bioécologie des nématodes à kystes (*Globodera* sp.) inféodés à la culture de la pomme de terre

Commune	Parcelle	Superficie (ha)	Faible du sol (kg)	Précédent culturel F1/F2/F3/F4	Type du sol	Mode d'irrigation	Rendement (kg/ha)	Date d'échantillonnage	Date d'entrainement	Date de récupération des kystes
El Abadia	F1	6 ha	1	BD/RT/BD/RT	Limono-A	Gouttes à gouttes	320	13/01/2013	01/02/2013	03/02/2013
	F2	4 ha	1	BD/PT/BD/OR	Limono-A	Gouttes à gouttes	250	13/01/2013	01/02/2013	03/02/2013
	F3	8 ha	1	BD/PT/BD/AV	Argile-L	Gouttes à gouttes	200	13/01/2013	01/02/2013	03/02/2013
El Anura	F1	10 ha	1	FC/PT/PT/PT	Argile-L	Aspersion	100	13/01/2013	01/02/2013	04/02/2013
	F2	6 ha	1	PT/PT/PT/BD	Argile-L	Gouttes à gouttes	150	13/01/2013	01/02/2013	04/02/2013
	F3	10 ha	1	AV/PT/PT/PT	Argile-L	Aspersion	120	13/01/2013	01/02/2013	04/02/2013
Fouina	F1	6 ha	1	PS/ME/PS/CO	Argile-L	Gouttes à gouttes	320	13/01/2013	01/02/2013	05/02/2013
	F2	6 ha	1	PT/PT/BD/PT	Argile-L	Aspersion	150	13/01/2013	01/02/2013	05/02/2013
	F3	9 ha	1	OR/PT/AV/BD	Argile-L	Gouttes à gouttes	250	13/01/2013	01/02/2013	05/02/2013
Ain Delfa	F1	2 ha	1	PT/HT/PT/HT	Argile-L	Aspersion	150	02/02/2013	07/02/2013	08/02/2013
	F2	7 ha	1	PT/RT/RT/BD	Argile-L	Gouttes à gouttes	300	02/02/2013	07/02/2013	08/02/2013
Bourachid	F1	4 ha	1	BD/PT/BD/BD	Argile-L	Aspersion	200	02/02/2013	07/02/2013	08/02/2013
	F1	8 ha	1	PT/PT/PT/PT	Limono-A	Gouttes à gouttes	100	15/02/2013	27/02/2013	01/03/2013
	F2	9 ha	1	PT/PT/PT/BD	Limono-A	Gouttes à gouttes	320	15/02/2013	27/02/2013	01/03/2013
Attaf	F1	9 ha	1	PT/OR/AV/RT	Limono-A	Aspersion	200	15/02/2013	27/02/2013	02/03/2013
	F2	3 ha	1	BD/BD/PT/VA	Limono-A	Gouttes à gouttes	300	15/02/2013	27/02/2013	04/03/2013
	F3	6 ha	1	OR/PT/PT/OR	Limono-A	Gouttes à gouttes	300	15/02/2013	27/02/2013	05/03/2013
Melharra	F1	3 ha	1	PT/HT/PT/HT	Argile-L	Rais	150	21/02/2013	27/02/2013	05/03/2013
	F2	3 ha	1	PT/AV/PT/BD	Argile-L	Rais	150	21/02/2013	27/02/2013	06/03/2013
	F3	6 ha	1	PT/BD/PT/AV	Argile-L	Gouttes à gouttes	200	21/02/2013	27/02/2013	07/03/2013
Bir Ouled Khalfa	F1	5 ha	1	OR/BE/BE/LUZ	Limono-A	Gouttes à gouttes	200	24/02/2013	27/02/2013	07/03/2013
	F2	5 ha	1	VA/OR/BD/OR	Argile-L	Gouttes à gouttes	250	24/02/2013	27/02/2013	08/03/2013
	F3	4 ha	1	PT/BD/PT/BE	Limono-A	Aspersion	250	24/02/2013	27/02/2013	08/03/2013
Bordj Amir Khaled	F1	4 ha	1	PT/BD/PT/PT	Limono-A	Gouttes à gouttes	300	24/02/2013	27/02/2013	09/03/2013
	F2	5 ha	1	PT/BD/RT/BD	Limono-A	Aspersion	300	24/02/2013	27/02/2013	09/03/2013
	F3	9 ha	1	PT/RT/BD/RT	Argile-L	Gouttes à gouttes	200	24/02/2013	27/02/2013	09/03/2013
Djendel	F1	7 ha	1	BD/BD/OR/RT	Argile-L	Gouttes à gouttes	300	03/03/2013	10/03/2013	11/03/2013
	F2	8 ha	1	RT/BD/RT/PT	Argile-L	Gouttes à gouttes	250	03/03/2013	10/03/2013	11/03/2013
	F3	8 ha	1	RT/RT/AV/BD	Argile-L	Gouttes à gouttes	300	03/03/2013	10/03/2013	12/03/2013
Arib	F1	6 ha	1	LA/BD/BD/CO	Argile-L	Gouttes à gouttes	290	15/03/2013	19/03/2013	07/04/2013
	F2	5 ha	1	TO/TO/PT/TO	Argile-L	Aspersion	100	15/03/2013	19/03/2013	07/04/2013
	F3	8 ha	1	PT/PT/TO/OI	Argile-L	Gouttes à gouttes	100	15/03/2013	19/03/2013	07/04/2013
Ain Saltane	F1	7 ha	1	BD/RT/PT/VA	Argile-L	Gouttes à gouttes	200	20/03/2013	08/04/2013	09/04/2013
	F2	3 ha	1	RT/AV/PT/VA	Limono-A	Gouttes à gouttes	250	20/03/2013	08/04/2013	09/04/2013
	F3	4 ha	1	VA/OR/BD/VA	Limono-A	Rais	250	20/03/2013	08/04/2013	09/04/2013
Ain	F1	6 ha	1	PT/BD/BD/OR	Argile-L	Gouttes à gouttes	250	20/03/2013	08/04/2013	11/04/2013
Lecheikh	F2	4 ha	1	BD/OR/BD/BD	Argile-L	Gouttes à gouttes	250	20/03/2013	08/04/2013	11/04/2013
	F3	4 ha	1	BD/BD/RT/PT	Argile-L	Gouttes à gouttes	290	20/03/2013	08/04/2013	11/04/2013
	F1	3 ha	1	PT/BD/RT/BD	Argile-L	Aspersion	200	20/03/2013	08/04/2013	12/04/2013
Ain Bouyahia	F2	3 ha	1	OR/VA/BD/OR	Argile-L	Aspersion	150	20/03/2013	08/04/2013	12/04/2013
	F3	3 ha	1	BD/PT/RT/BD	Limono-A	Gouttes à gouttes	200	20/03/2013	08/04/2013	12/04/2013
	F1	2 ha	1	OR/VA/PT/PT	Limono-A	Gouttes à gouttes	300	20/03/2013	10/04/2013	13/04/2013
Tari Ben Ziad	F2	2 ha	1	PT/VA/BD/BD	Limono-A	Gouttes à gouttes	200	20/03/2013	10/04/2013	13/04/2013
	F3	3 ha	1	RT/FC/OR/BD	Argile-L	Gouttes à gouttes	300	20/03/2013	10/04/2013	13/04/2013
	F1	2 ha	1	AV/PT/VA/OR	Argile-L	Aspersion	270	20/03/2013	10/04/2013	14/04/2013
Bathia	F2	2 ha	1	BD/BD/PT/OI	Argile-L	Aspersion	290	20/03/2013	10/04/2013	14/04/2013
	F3	2 ha	1	BD/BD/FC/OR	Argile-L	Aspersion	290	20/03/2013	10/04/2013	14/04/2013

BD : Bie dur RT : Bie tendre OR : Oïgne AV : Aubrine VA : Verce-Aubrine PT : Pomme de terre FC : Fais chiche TO : Tomate CO : Courgette PS : Potatogue ME : Maïs PT : Potatogue travaillé HT : Jardin non travaillé BE : Bersin LUZ : Lucerne OI : Oïgne LA : Laitue Limono-A : Limono-argileux Argile-L : argile-limoneux

Tableau 42. Importance des échantillons prélevés.

III.3.- Résultats et discussion

III.3.1.- Résultats

III.3.1.1.- Fréquence des kystes de *Globodera* dans l'ensemble des échantillons

Dans l'analyse nématologique, nous avons étudié 3 échantillons par commune. Le taux d'infestation des échantillons par les kystes du genre *Globodera* pour chaque commune est représenté dans le tableau 43.

Tableau 43. Fréquence de *Globodera* sp. dans l'ensemble des échantillons de sol.

Commune	Nombre d'échantillons prélevés	% des échantillons infestés
El Abadia	3	66,66
El Amra	3	100
Rouina	3	100
Ain Defla	3	66,66
Bourached	3	66,66
Attaf	3	66,66
Mekhatria	3	100
Bir Ouled khalifa	3	100
Bordj Amir Khaled	3	100
Djendel	3	66,66
Arib	3	100
Ain Soltane	3	66,66
Ain Lecheikh	3	100
Ain Bouyahia	3	100
Tark Ibn Ziad	3	33,33
Bathia	3	0
Total	48	77,08

Les kystes de *Globodera* sp. sont présents dans toutes les communes prospectées à l'exception de Bathia. La fréquence de l'infestation est variable d'une commune à une autre. Elle est systématique (100 %) dans la plupart des régions étudiées comme El Amra, Rouina, Mekhatria, Bir Ouled khalifa, Bordj Amir Khaled, Arib, Ain Lecheikh et Ain Bouyahia. Elle est de 66,66 % dans la commune d'El Abadia, Ain Defla, Bourached, Attaf, Djendel et Ain Soltane. Un taux d'infestation de 33,33%, caractérise uniquement la commune de Tark Ibn Ziad. Concernant la fréquence de l'infestation dans l'ensemble des échantillons étudiés (48 échantillons), elle est importante (77,08 %) (Fig. 74).

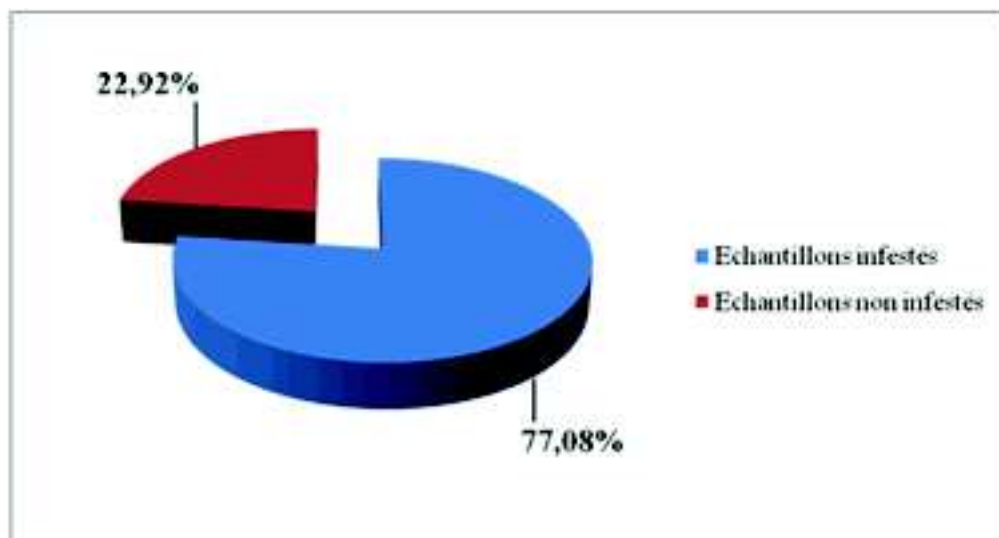


Fig. 74 - Pourcentage des échantillons de sol infestés et non infestés par les *Globodera*.

III.3.1.2.- Importance de l'infestation en fonction des communes prospectées

Le degré d'infestation est calculé selon le nombre d'œufs ou de larves dans un gramme de sol (Wolfgong, 1991). Le nombre d'œufs chez *Globodera* sp. est de 200 à 300 œufs/kyste,

alors que selon Greco (1988) ce nombre varie de 200 à 600, et de 200 à 500 d'après Evans (1993), et peut arriver jusqu'à 1500 œufs par femelle lors des conditions extrêmes (Moxnes et Husken, 2007), et notre résultats précédents (chapitre II) montrent que la population de *Globodera* issue des parcelles de la variété Spunta présente un nombre moyen de 367 œufs/kyste.

En s'appuyant sur ces résultats, nous avons estimé que le nombre moyen est de 300 œufs/kyste. Sachant que, Mugniéry (1975) cité par Mazouz (2011) a estimé le seuil de nuisibilité des *Globodera* à 10 L₂/g de sol.

Cependant, l'analyse nématologique des échantillons de sol nous a permis d'obtenir les résultats mentionnés dans le tableau 44.

Tableau 44. Résultats d'analyse nématologique des parcelles prospectées.

Commune	Parcelle	Kyste vide	Kyste plein	Kyste total	Densité de K.P./100 g de sol	% Kyste vide	% Kyste plein	Degré d'infestation (L ₂ /g de sol)
El Abadia	P1	0	0	0	0	0	0	00,00
	P2	142	7	149	0,7	95,30	4,70	02,10
	P3	61	4	65	0,4	93,84	6,16	01,20
El Amra	P1	110	23	133	2,3	82,70	17,3	06,90
	P2	268	19	287	1,9	93,37	06,63	05,70
	P3	64	21	85	2,1	75,29	24,71	06,30
Rouina	P1	62	0	62	0	100	0	00,00
	P2	296	16	312	1,6	94,87	5,13	04,80
	P3	36	4	40	0,4	90	10	01,20
Ain Defla	P1	263	15	278	1,5	94,60	5,40	04,50
	P2	0	0	0	0	0	0	00,00
	P3	271	5	276	0,5	98,18	1,82	01,50
Bourached	P1	95	15	110	1,5	86,36	13,64	04,50
	P2	0	0	0	0	0	0	00,00
	P3	74	9	83	0,9	89,15	10,85	02,70
Attaf	P1	263	5	268	0,5	98,13	1,87	01,50
	P2	119	2	121	0,2	98,34	1,66	00,60
	P3	0	0	0	0	0	0	00,00
Mekhatria	P1	110	12	122	1,2	90,16	9,84	03,60
	P2	116	14	130	1,4	89,23	10,77	04,20
	P3	131	3	134	0,3	97,76	2,24	00,90
Bir Ouled khalifa	P1	49	2	51	0,2	96,07	3,93	00,60
	P2	204	3	207	0,3	98,55	1,45	00,90
	P3	125	9	134	0,9	93,28	6,72	02,70
Bordj Amir Khaled	P1	91	10	101	1	90,09	9,91	03,00
	P2	137	1	138	0,1	99,27	0,73	00,30
	P3	255	4	259	0,4	98,45	1,55	01,20
Djendel	P1	50	1	51	0,1	98,03	1,97	00,30
	P2	25	1	26	0,1	96,15	3,85	00,30
	P3	0	0	0	0	0	0	00,00
Arib	P1	73	0	73	0	100	0	00,00
	P2	331	34	365	3,4	90,68	9,32	10,20
	P3	208	10	218	1	95,41	4,59	03,00
Ain Soltane	P1	360	3	363	0,3	99,17	0,83	00,90
	P2	122	2	124	0,2	98,38	1,62	00,60
	P3	0	0	0	0	0	0	00,00
Ain Lecheikh	P1	108	4	112	0,4	96,42	3,58	01,20
	P2	67	1	68	0,1	98,52	1,48	00,30
	P3	44	1	45	0,1	97,77	2,23	00,30
Ain bouyahia	P1	91	12	103	1,2	88,34	11,66	03,60
	P2	97	13	110	1,3	88,18	11,82	03,90
	P3	58	2	60	0,2	96,66	3,34	00,60
Tark Ibn Ziad	P1	0	0	0	0	0	0	00,00
	P2	31	0	31	0	100	0	00,00
	P3	0	0	0	0	0	0	00,00
Bathia	P1	0	0	0	0	0	0	00,00
	P2	0	0	0	0	0	0	00,00
	P3	0	0	0	0	0	0	00,00

Les kystes vides des *Globodera* sont très abondants. La parcelle 1 de la commune d'Ain Soltane a présenté la plus importante abondance (360 kystes/kg de sol); en revanche la plus faible est obtenue dans la parcelle 3 de la commune de Tark Ibn Ziad (31 kystes/kg de sol). Contrairement aux kystes pleins, sont peu nombreux, le plus grand nombre est rencontré dans la parcelle 2 de la commune d'Arib (34 kystes/kg de sol) et le plus petit (1 kyste/kg de sol) à Bordj Amir Khaled (parcelle 2), Djendel (parcelle 1 et 2) et Ain Lecheikh (parcelle 2 et 3) et leurs densités par 100g de sol varient de 0 à 3,4 kystes pleins. Tandis que, le nombre total des kystes est aussi important. Une forte densité a été notée dans la parcelle 1 de la commune d'Ain Soltane (363 kystes/kg de sol) et la plus faible a été observée à Tark Ibn Ziad (parcelle 3) avec 39 kystes/kg de sol.

De même, il est signalé que certaines parcelles sont dépourvues des kystes de ce nématode et d'autres présentent uniquement des kystes vides.

Concernant les pourcentages des kystes, il est apparu clairement que le pourcentage des kystes vides (allant de 75,29 à 100 %) est toujours supérieur à celui des kystes pleins (variant entre 0 et 24,71 %).

Cependant, les degrés d'infestation sont importants dans certaines parcelles et dépassant même le seuil de nuisibilité (qui est fixé à 10 L₂/g de sol) dans la parcelle 2 de la commune d'Arib avec 10,20 L₂/g de sol. Ils sont faibles dans d'autres parcelles. En effet, ils varient de 0,30 à 6,90 L₂/g de sol. Ainsi, il est signalé que quelques parcelles prospectées sont indemnes de ce parasite (absence des kystes pleins dans les échantillons prélevés). La moyenne de degré d'infestation est calculée pour chaque région étudiée. Ces dernières sont classées suivant l'état d'infestation descendante, c'est-à-dire de la plus infestée vers la moins infestée et présentées dans un histogramme (Fig. 77).

L'analyse de la variance de ces résultats est avérée intéressante pour chercher les effets significatifs. Dans ce qui suit nous présentons l'effet des régions prospectées sur les variables étudiées.

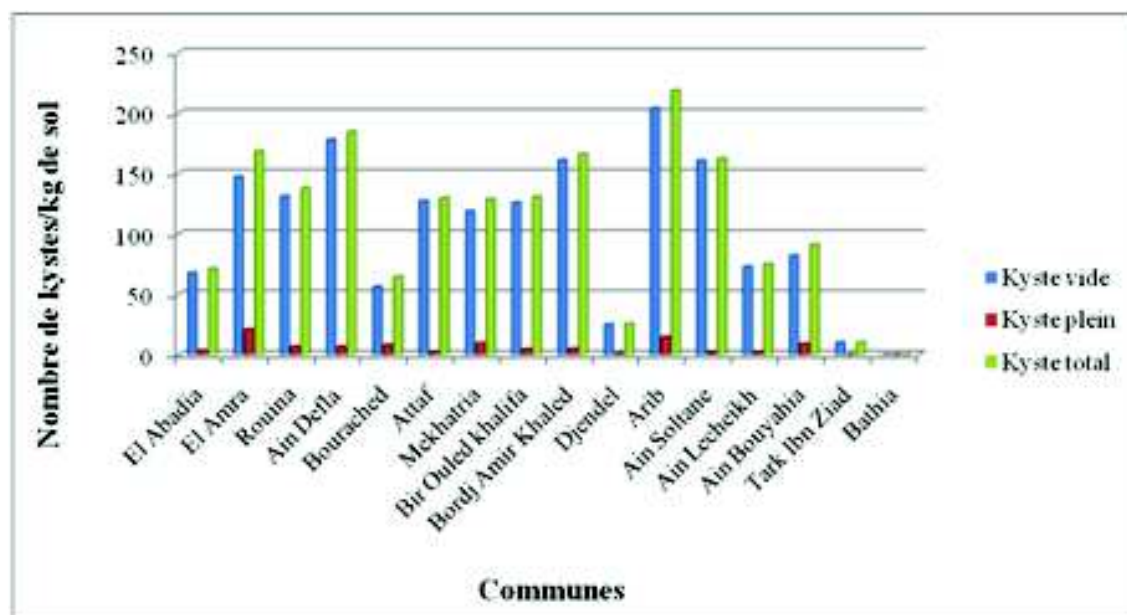


Fig. 75 - Moyennes des densités des kystes (vides, pleins et totaux) de *Globodera* en fonction des communes prospectées.

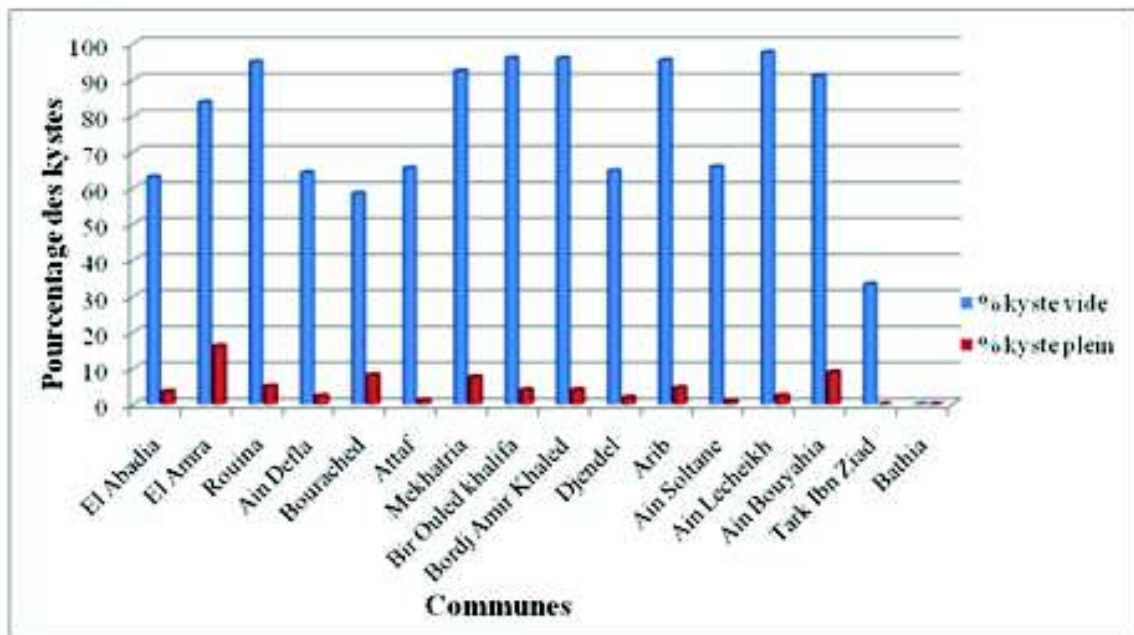


Fig. 76 - Moyennes des pourcentages des kystes vides et pleins de *Globodera* en fonction des communes prospectées.

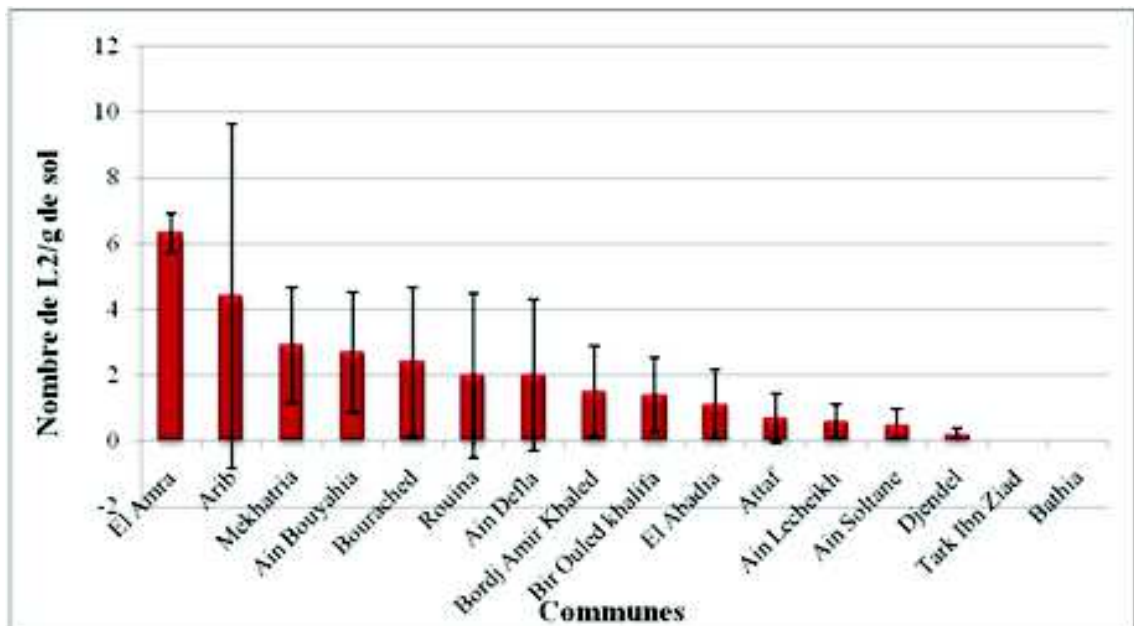


Fig. 77 – Moyennes des degrés d'infestation des *Globodera* en fonction des communes prospectées.

L'allure générale d'histogramme portant sur le degré de l'infestation des nématodes à kyste du genre *Globodera* en fonction des régions prospectées, met en évidence l'importance que peuvent jouer ces dernières sur la répartition de ce nématode. Nous notons une diminution graduelle des moyennes des infestations calculées du Nord (El Amra, Arib) au Sud (Bathia), exception pour les sites de Rouina et Ain Defla, ont présenté des densités voisines de l'ordre de 2 L₂/g de sol. Les moyennes calculées varient de 0,2 à 6,3 L₂/g de sol, respectivement pour la région de Djendel et d'El Amra. Les écarts-types

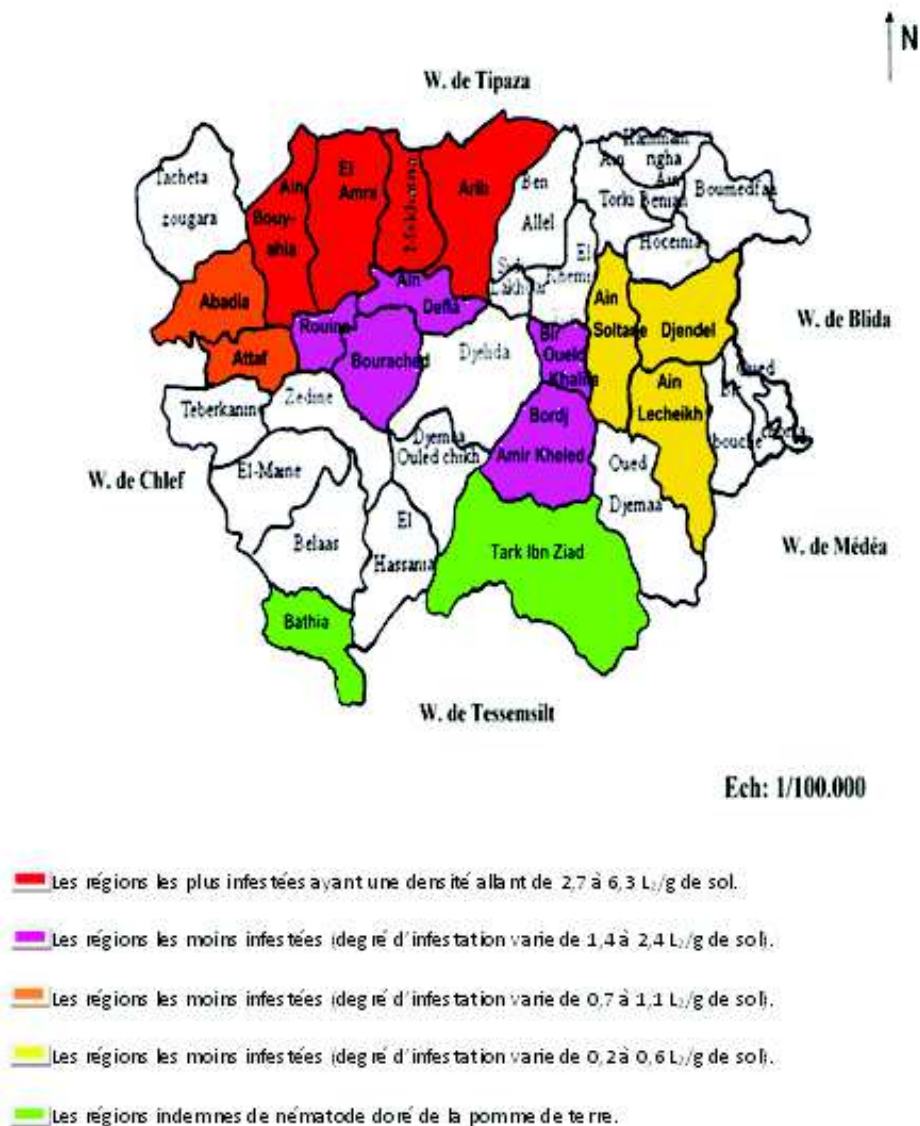


Fig. 78 - Importance d'infestation des nématodes à kyste *Globodera inféodés* à la culture de pomme de terre d'arrière saison (variété *Spunta*) à Ain Defla.

Analyse de la variance

L'analyse de la variance sur les différentes variables considérées dans les sites étudiés est résumée dans le tableau 45.

Tableau 45. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des régions prospectées sur les variables étudiées.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Kyste vide	170041,6	15	11336,11	293068,7	32	9158,396	1,237783	0,295945
Kyste plein	1453,0	15	96,87	1250,0	32	39,063	2,479751	0,015221*
Kyste total	188754,6	15	12583,64	315207,3	32	9850,229	1,277497	0,271452
Degré d'infestation	130,8	15	8,72	112,5	32	3,516	2,479751	0,015221*

Une différence significative entre les différentes régions est obtenue pour les variables "nombre de kyste plein" et "degré de l'infestation" avec des probabilités systématiques ($p=0,015221 < 0,05$). Cependant, une différence non significative est observée pour les variables "nombre de kyste vide" et "nombre total des kystes" avec des probabilités respectives de 0,295945 et de 0,271452.

Test de Newman-Keuls

L'analyse de la variance est complétée par le test de Newman-Keuls. Les résultats de test sont consignés dans les tableaux 46 et 47.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 39,062 ; dl = 32			
	Commune	Moyenne	1	2
1	Tark Ibn Ziad	0,000000	****	
2	Bathia	0,000000	****	
3	Djendel	0,66667	****	
4	Ain Soltane	1,66667	****	
5	Ain Lecheikh	2,00000	****	
6	Attaf	2,33333	****	
7	El Abadia	3,66667	****	
8	Bir Ouled Khalifa	4,66667	****	****
9	Bordj Amir Khaled	5,00000	****	****
10	Ain Defla	6,66667	****	****
11	Rouina	6,66667	****	****
12	Bourached	8,00000	****	****
13	Ain Bouyahia	9,00000	****	****
14	Mekhatria	9,66667	****	****
15	Arib	14,66667	****	****
16	El Amra	21,00000		****

Tableau 46. Résultats du test de Newman-Keuls sur le nombre de kystes pleins/kg de sol.

Il semble que les régions prospectées sont divisées en deux groupes homogènes. L'un renferme les régions qui présentent des moyennes faibles du nombre de kystes pleins/kg de sol, il s'agit de toutes les régions prospectées sauf la région d'El Amra. Tandis que, les régions qui montrent des moyennes élevées se retrouvent dans un autre groupe qui est représenté par la région de Bir Ouled Khalifa, Bordj Amir Khaled, Ain Defla, Rouina, Bourached, Ain Bouyahia, Mekhatria, Arib et El Amra.

Cellule	Groupes homogènes, $\alpha = 0,05$			
	Erreur : MC Inter = 3,5156 ; dl = 32			
	Commune	Moyenne	1	2
1	Tark Ibn Ziad	0,000000	****	
2	Bathia	0,000000	****	
3	Djendel	0,200000	****	
4	Ain Soltane	0,500000	****	
5	Ain Lecheikh	0,600000	****	
6	Attaf	0,700000	****	
7	El Abadia	1,100000	****	
8	Bir Ouled Khalifa	1,400000	****	****
9	Bordj Amir Khaled	1,500000	****	****
10	Ain Defla	2,000000	****	****
11	Rouina	2,000000	****	****
12	Bourached	2,400000	****	****
13	Ain Bouya	2,700000	****	****
14	Mekhatria	2,900000	****	****
15	Arib	4,400000	****	****
16	El Amra	6,300000		****

Tableau 47. Résultats du test de Newman-Keuls sur le nombre de larves L_2/g de sol.

Le teste de Newman-Keuls met en évidence deux groupes homogènes. Le premier caractérise par des moyennes faibles de degrés d'infestation, il représente toutes les régions prospectées à l'exception d'El Amra. Le second groupe renferme les régions qui présentent un nombre important des larves de ce nématode par gramme de sol, et qui sont les suivantes : Bir Ouled Khalifa, Bordj Amir Khaled, Ain Defla, Rouina, Bourached, Ain Bouyahia, Mekhatria, Arib et El Amra.

III.3.1.3.- Importance du rendement de la pomme de terre dans les régions prospectées

Les résultats présentés dans le tableau 43 donnent une idée générale sur les rendements mais ne montrent pas de différences nettes. Nous avons jugé utile d'établir dans la figure 79 les moyennes calculées sur le rendement de la culture de la pomme de terre dans l'ensemble des régions considérées.

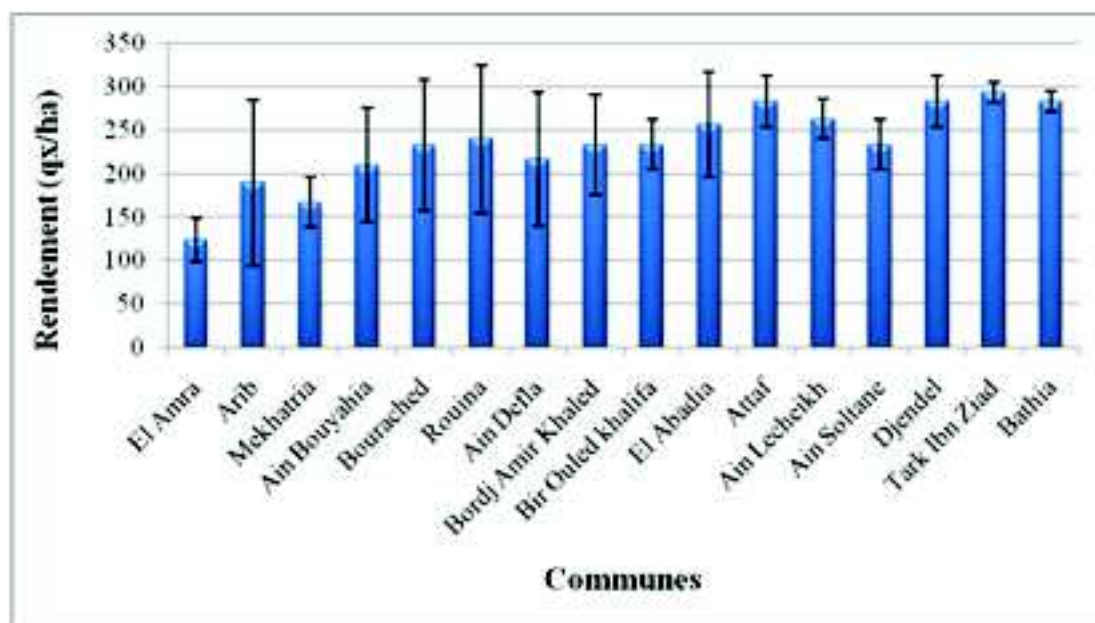


Fig. 79 - Moyennes des rendements
calculées sur l'ensemble des régions prospectées.

Nous notons une augmentation graduelle des moyennes des rendements calculées dans les sites d'étude du Nord au Sud, exception faite pour les rendements de certains sites, où une légère diminution apparaît. Les valeurs moyennes calculées varient de 123,33 pour la région d'El Amra à 293,33 qx/ha pour la région de Tark Ibn Ziad avec des écarts-types respectifs de 25,16 et de 11,54.

Comparativement aux résultats obtenus sur le degré d'infestation des *Globodera* en fonction des régions étudiées (histogramme de la figure 77), nous remarquons que les sens de variation de degré d'infestation et de rendement de la culture sont opposés. En effet, une diminution graduelle du Nord au Sud pour le degré d'infestation et une augmentation graduelle du Nord au Sud pour le rendement. Cela nous a permis de dire qu'il y a une relation entre ces deux variables. Dans ce qui suit nous présentons les corrélations qui peuvent ressortir entre le degré de l'infestation des parcelles par ce nématode phytophage et les rendements obtenus.

III.3.1.4.- Relation entre le degré de l'infestation et les rendements de la culture

La figure 80 représente l'équation de calcul des rendements en provenance de différentes parcelles de pomme de terre. La probabilité calculée montre une différence de très haute signification ($p=2,8608E-16 < 0,001$) et un coefficient de détermination s'élève à ($R^2=0,77$) qui explique 77 % de la variation. Ceci permet d'affirmer que le rendement est en étroite relation avec le degré d'infestation. Plus l'effectif des larves de ce nématode augmente plus le rendement de la culture de pomme de terre diminue.

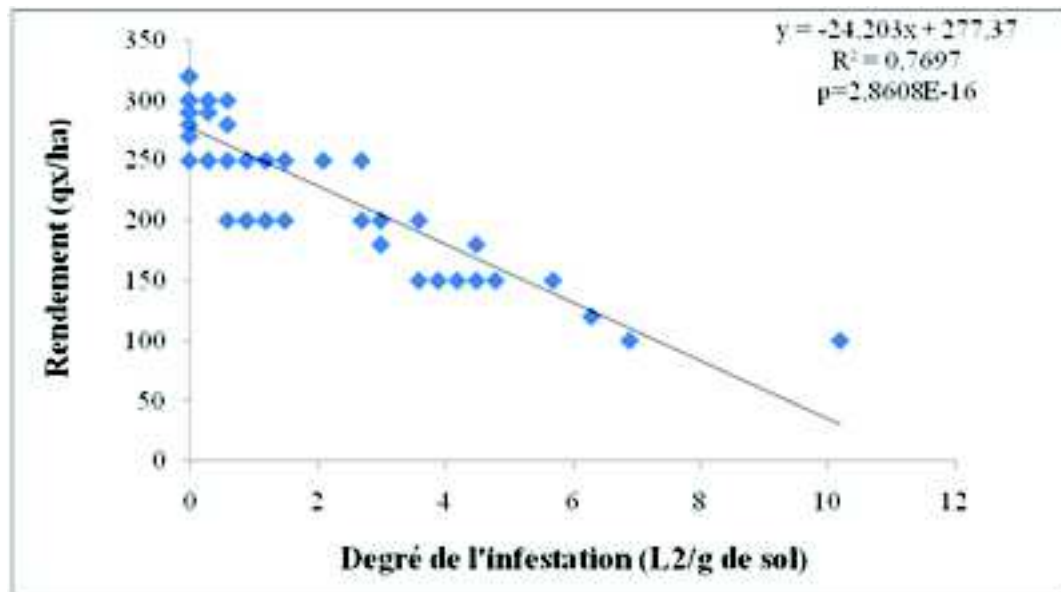


Fig. 80 - Régression du rendement de la culture de pomme de terre en fonction de degré d'infestation des parcelles par les *Globodera*.

Pour bien expliquer l'effet des régions prospectées sur les rendements obtenus, nous avons fait appel à l'analyse de la variance à un critère de classification dans le but de tester la significativité statistique des différences entre les facteurs étudiés. Nous avons aussi complété cette analyse par le test de Newman-Keuls.

Tableau 48. Résultats de l'analyse de la variance au seuil 5% pour l'effet des communes prospectées sur le rendement de la culture de la pomme de terre.

Variable	SC Effet	DL Effet	MC Effet	SC Erreur	DL Erreur	MC Erreur	F	P
Rendement	95481,25	15	6365,417	89666,67	32	2802,083	2,271673	0,025227*

Une différence significative entre les différentes régions est obtenue pour la variable rendement de la culture de pomme de terre ($p=0,025227 < 0,05$). De ce fait nous pouvons déduire que la région joue un rôle sur le rendement.

Cellule	Groupes homogènes, alpha = 0,05			
	Erreur : MC Inter = 2802,1 ; dl = 32			
	Commune	Moyenne	1	2
1	El Amra	123,3333	****	
2	Mekhatria	166,6667	****	****
3	Arib	190,0000	****	****
4	Ain Bouyahia	210,0000	****	****
5	Ain Defla	216,6667	****	****
6	Ain Soltane	233,3333	****	****
7	Bir Ouled Khalifa	233,3333	****	****
8	Bordj Amir Khaled	233,3333	****	****
9	Bourached	233,3333	****	****
10	Rouina	240,0000	****	****
11	El Abadia	256,6667	****	****
12	Ain Lecheikh	263,3333	****	****
13	Attaf	283,3333		****
14	Bathia Mekhatria	283,3333		****
15	Djendel	283,3333		****
16	Tark Ibn Ziad	293,3333		****

Tableau 49. Résultats du test de Newman-Keuls sur le rendement de la culture de pomme de terre.

Le test nous a permis d'obtenir deux groupes homogènes. Le premier regroupe les régions qui ayant des faibles moyennes de rendement à savoir El Amra, Mekhatria, Arib, Ain Bouyahia, Ain Defla, Ain Soltane, Bir Ouled Khalifa, Bordj Amir Khaled, Bourached, Rouina, El Abadia et Ain Lecheikh. Le second groupe renferme les régions qui présentent des moyennes élevées de rendement, il s'agit de toutes les régions prospectées à l'exception d'El Amra.

III.3.2.- Discussion

Les nématodes à kyste du genre *Globodera* de la pomme de terre sont considérés parmi les principaux ennemis de cette culture. Ils sont présents dans de nombreux bassins de production de pomme de terre où les dégâts sont parfois considérables.

La présence de ce nématode dans le littoral algérois semble être mise en évidence depuis longtemps sur la culture de la pomme de terre et de la tomate. Il a été signalé par Frezel en 1953 cité par Merah en 1998, dans les parcelles de Maison carrée, Birkhadem, Chéragas, Fort-de-l'eau, Kouba et Staouali. Plus tard, plusieurs chercheurs signalent la

présence de ce parasite dans différentes régions de pays, il s'agit de Boumerdes et Chlef par Kacem en 1992, Bouira par Merah en 1998, Tipaza par Belhadj Ben Yahia en 2007. Il a été signalé également récemment dans la région de Mila (Khenioui, 2011). Dans la région d'Ain Defla, la première détection du nématode a été faite en 1992 par Kacem. Ensuite, par Merah (1998); Belhadj Ben Yahia (2007); Mokhtari (2007) ; Bougar (2010); Djebroune (2011) et Baloul (2012). Notre présente étude confirme sa présence dans la wilaya. En effet, les résultats obtenus dans notre étude révèlent la présence des *Globodera* dans la région d'Ain Defla à différentes communes et orientations (Nord, Sud, Est et Ouest) avec une fréquence variable de 33,33 à 100%.

La fréquence très élevée (100%) a été enregistrée dans différentes communes, à savoir El Amra, Rouina, Mekhatria, Bir Ouled khalifa, Bordj Amir Khaled, Arib, Ain Lecheikh et Ain Bouyahia. Cette fréquence peut être expliquée par le fait que la production agricole est basée sur la culture de la pomme de terre dans la plupart des parcelles prospectées dans ces communes. S'ajoute à cela la sensibilité de la variété utilisée Spunta qui a été démontrée par plusieurs auteurs (Belhadj Ben Yahia, 2007 ; Hlaoua *et al.*, 2010 et Hajihassani *et al.*, 2013), et le système de culture d'arrière saison qui favorise le développement de ce nématode phytophage. Greco (1988) avait préalablement constaté que les kystes pleins sont plus intenses dans la culture de la pomme de terre arrière saison. Djebroune (2011) a révélé que la culture de la pomme de terre d'arrière saison est plus infestée que celle de la saison.

L'analyse des données relatives aux échantillonnages pratiqués sur la même variété de la pomme de terre "Spunta" dans les différentes régions nous a montré que les *Globodera* sont décelés dans la plupart des régions étudiées. L'infestation varie d'une région à une autre voire d'une parcelle à l'autre. Cela a été confirmé par l'analyse de la variance qui montre une différence significative entre les différentes régions pour la variable degré d'infestation de ces parasites. Cette variation est expliquée par la nature de sol, les différentes pratiques culturales et aux conditions climatiques qui prévalent dans les lieux prospectés, comme cela a été montré par plusieurs auteurs (Kacem, 1992 ; Belhadj Ben Yahia, 2007 ; Bougar, 2010 ; Djebroune, 2011 ; Khenioui, 2011 et Mazouz, 2011).

On note une absence totale des *Globodera* dans certaines parcelles comme la parcelle 1 d'El Abadia, parcelle 2 d'Ain Defla, parcelle 2 de Bourached, parcelle 3 d'Attaf, parcelle 3 de Djendel, parcelle 3 d'Ain Soltane, parcelle 1 et 3 de Tark Ibn Ziad et toutes les parcelles prospectées à Bathia. Ceci s'explique principalement par le sol argilo-limoneux qui empêche le mouvement et le développement de nématode. Ces résultats confirment ceux avancés par plusieurs auteurs comme Kacem en 1992, concernant la répartition de ce nématode dans la région de Boumerdes. Hlaoua *et al.* (2010) ont montré que les *Globodera* sont retrouvés sur la majorité des variétés utilisées dans les zones caractérisées par des sols limoneux à plus ou moins lourds. Ceux de Shneider et Mugniéry (1971) témoignent que le développement et le déplacement du nématode doré semblent être plus favorisés en sol légers et poreux qu'en sol lourd.

Cependant, dans d'autres parcelles on a rencontré seulement les kystes vides comme la parcelle 1 de Rouina, la parcelle 1 d'Arib et la parcelle 2 de Tark Ibn Ziad, ceci s'explique par le système de rotation appliqué pendant les 4 dernières années qui permet d'assainir ces parcelles de ces parasites. Il est représenté par les cultures non hôtes pour ce nématode ou par la jachère qui est défavorable au développement de ces nématodes. Cela confirme les résultats obtenus par d'autres auteurs tels que Chauvin *et al.* (2008), qui ont constaté qu'une rotation culturale, au minimum de quatre ans, permet de maintenir ou de réduire la population de nématodes. Selon Mugniéry 1982, le non retour de la pomme de terre sur la

même sole constitue d'emblée un moyen de lutte qui devrait être prédominant si des raisons économique n'intervenaient pas. D'après Greco (1988), le déclin annuel de population est de 20 à 60% en absence de la plante hôtes ou en jachère. En Algérie, les cultures non hôtes de printemps et d'automne entraînent des chutes de population de 30-33% (Mugniéry et Zaouchi, 1973 in Mugniéry, 1982). En outre, Sullivan *et al.* (2007) ont montré en absence de plante hôte, la mortalité des œufs peut atteindre moins de 50 % dans les régions tempérées pour dépasser le 70 % dans les régions chaudes. De même, les résultats des travaux de Turcotte *et al.* (2013) concernant l'évaluation des effets de la rotation des cultures hôtes sur les densités de *G. rostochiensis* par des expériences ont été effectuées à St-Amable (sol sableux) et à St-Hyacinthe (sol organique) de 2009 à 2012, ont montré qu'une rotation avec une culture non hôtes permet de réduire les densités de ce nématode. Sur le site de St-Amable, une année des cultures non hôte a réduit en moyenne de 38%, 55% et 43% de nombre d'œufs viables respectivement en 2010, 2011 et 2012. Tandis que, sur le site de St-Hyacinthe, a réduit en moyenne de 43%, 40% et 6%. Pour la rotation de deux années consécutives, les réductions du nombre d'œufs viables sont comparables pour les deux sites (84%). Selon les mêmes auteurs, un déclin annuel de 33% du nombre d'œufs viables de *G. rostochiensis* est prédit avec une culture non hôte. Par contre, après pomme de terre, on observe une multiplication des nématodes qui a été modélisée par divers auteurs cités par Mugniéry (1982) : Seinhorst (1967), Raeuber et Stelter (1970), Jones (1965) et Mugniéry (1976).

Cependant, l'effet de la jachère sur les nématodes à kyste de la pomme de terre a été aussi confirmé par les études faites auparavant. En effet, Mugniéry et Zaouchi (1973) cité par Mugniéry (1982) ont montré que la jachère estivale détruit 50% des œufs, ce qui aboutit à 80% de réduction annuelle. Boutehra (1992), a montré que le nombre de kyste/500g de sol est faible dans le domaine qui était une jachère depuis 1989, même après la plantation de la pomme de terre.

La parcelle 2 de la commune d'Arib est fortement infestée (10,20 L₂/g de sol) même elle dépasse le seuil de nuisibilité qui est fixé à 10 L₂/g de sol. La rotation est faite par des cultures de Solanacées (tomate/ tomate/pomme de terre/ tomate), plantes hôtes de ces endoparasites est responsable de cette infestation.

Toutes les parcelles prospectées dans la commune d'El Amra sont fortement infestées. En effet, la première parcelle est la plus infestée avec 6,90 L₂/g de sol, suivie par la troisième et la deuxième avec 6,30 et 5,70 L₂/g de sol respectivement. La rotation par pomme de terre qui est menu en monoculture ou bien avec une courte période de rotation est à l'origine de la situation. Ces résultats confirment à ceux obtenus par Tiilikkala (1991), qui a trouvé que dans les monocultures la densité de populations de nématodes peut passer de 0,1 à 256 larves/g de sol en 3 ans.

En outre, la parcelle 2 de Rouina est fortement infestée (4,80 L₂/g de sol). La monoculture pourrait être responsable de ce résultat. Donc, le parasite se maintient bien dans le sol.

Le niveau d'infestation s'élève à 4,50 L₂/g de sol dans la parcelle 1 de la commune d'Ain Defla. Cette infestation est liée à la courte période de retour de la pomme de terre sur la même sole d'une part et d'autre part c'est de laisser la parcelle en jachère non travaillée (pomme de terre/jachère non travaillée/ pomme de terre/ jachère non travaillée). Certains travaux ont montré que les nématodes phytoparasites sont plus abondants dans les sols peu perturbés que dans les sols fréquemment travaillés (Yeates *et al.*, 1991; Korenko et

Schmidt, 2006 in Hlaoua *et al.*, 2010). Ceci est probablement dû à la richesse en plantes et à la présence permanente des systèmes racinaires sur lesquels ils peuvent prélever leurs besoins.

Relativement, au degré d'infestation enregistré au niveau de la parcelle 1 de la commune de Bourached, il est comparable à celui obtenu dans la parcelle précédente. Cette situation pourrait être due à la pratique de la monoculture conserve les kystes du parasite dans le sol et au type du sol limono-argileux.

On a enregistré une forte infestation dans la parcelle 2 de la commune de Mekhatria (4,20 L₂/g de sol), et ceci malgré les conditions défavorables au parasite (précédent représenté par des plantes non hôtes et le sol argilo-limoneux). Donc peut être le système d'irrigation à la raie responsable de la situation. Cette hypothèse est en parfaite corrélation avec les résultats trouvés par Hlaoua *et al.* en 2010.

De même, une densité élevée des *Globodera* a été rencontrée dans la première (3,6 L₂/g de sol) et la deuxième (3,9 L₂/g de sol) parcelle de la commune d'Ain Bouyahia. Ce niveau d'infestation est probablement dû au système d'irrigation par aspersion car les conditions des parcelles sont toutes défavorables (précédent cultural représenté par les Graminées et le sol argilo-limoneux). Le système d'irrigation par aspersion favorise le développement de parasite. Par contre, le système gouttes à gouttes défavorise le développement de ce nématode (Reddy, 1983 in Belhadj Ben Yahia, 2007). Ces résultats confirment à ceux obtenus par Hlaoua *et al.* (2010), qui ont démontré que les variétés de pommes de terre Nicola et Atlas, irriguées généralement par aspersion, sont les plus infestées par ces ravageurs.

Un degré d'infestation de 3 L₂/g de sol est obtenu dans la parcelle 3 de la commune d'Arib. Les facteurs qui caractérisent cette parcelle sont défavorables au développement de ce nématode (irrigation par gouttes à gouttes et le sol argilo-limoneux), mais malheureusement, la rotation faite avec des espèces appartenant de la même famille botanique Solanacée (pomme de terre/pomme de terre/tomate) permet la multiplication de ces ravageurs. Le même niveau d'infestation a été enregistré dans la parcelle 1 de la commune de Bordj Amir Khaled, qui est dû probablement au type de sol limono-argileux et la monoculture qui sont des facteurs limitant aux *Globodera*.

Les échantillons prélevés dans la parcelle 3 de Bir Ouled khalifa et Bourached montrent le même niveau d'infestation (2,7 L₂/g de sol). Cette infestation est provoquée par le système d'irrigation par aspersion et le sol limono-argileux car d'autres facteurs sont défavorables.

Le taux d'infestation enregistré dans la parcelle 2 de la commune d'El Abadia (2,1 L₂/g de sol) est dû essentiellement au sol léger et poreux (limono-argileux), comme il est connu que la nature texturale du sol exerce un effet considérable sur la survie du nématode.

Le degré d'infestation est systématique dans la parcelle 3 d'Ain Defla et la parcelle 1 d'Attaf (1,5 L₂/g de sol). Cette infestation est causée respectivement par le système d'irrigation par aspersion et à la nature du sol léger.

L'analyse nématologique révèle un taux d'infestation systématique (1,20 L₂/g de sol) dans divers parcelles prospectées (parcelle 3 d'El Abadia, de Rouina et de Bordj Amir Khaled et la parcelle 1 d'Ain Lecheikh), ceci pourrait s'expliquer par l'influence d'autres facteurs car les conditions de la parcelle sont toutes défavorables (précédent représenté par les plantes non hôtes ou jachère, sol est argilo-limoneux et le système d'irrigation par gouttes

à gouttes). Ces facteurs peuvent être représentés par l'origine de la semence parce que ce nématode persiste toujours suite à l'emploi de semences contaminées. De même, le vent peut disséminer ce parasite d'une parcelle à une autre. Le matériel de labour peut également être à l'origine de cette infestation. Les mêmes facteurs qui peuvent expliquer l'infestation enregistrée dans les échantillons prélevés de la parcelle 3 de Mekhatria, parcelle 2 de Bir Ouled khalifa et la parcelle 1 d'Ain Soltane (0,9 L₂/g de sol).

Une faible infestation (0,6 L₂/g de sol) a été enregistrée dans la parcelle 2 d'Attaf, la parcelle 1 de Bir Ouled khalifa, la parcelle 2 d'Ain Soltane et la parcelle 2 d'Ain Bouyahia. Ce résultat peut être dû aux facteurs précités (le vent, la semence et le matériel de travail du sol) qui permettent de transporter le nématode et persiste dans le sol léger qui caractérise ces parcelles.

En fin, une très faible infestation qui est de (0,3 L₂/g de sol) correspond à 1 kyste plein/kg de sol a été enregistrée dans divers parcelles : la parcelle 2 de Bordj Amir Khaled, la parcelle 1 et la parcelle 2 de Djendel, la parcelle 2 et la parcelle 3 d'Ain Lecheikh. Les conditions défavorables (la rotation, le sol et le système d'irrigation) à l'origine de cette situation. Mais malgré cette faible infestation, elle est danger pour la culture ultérieure car à partir d'un seul kyste on peut avoir un nombre important de kystes grâce au taux élevé de la fécondité des femelles qui caractérise ce nématode (plus de 1000 œufs/kyste). Selon Chauvain *et al.* (2008), en zone de production de plants, la découverte d'un seul kyste dans une parcelle conduit à l'interdiction de la culture de pomme de terre pendant au minimum cinq ans.

D'après les discussions faites avec les agriculteurs on a conclu que ces fréquences sont due principalement à la méconnaissance totale de ce nématode et sont importance économique. Ils expliquent souvent la diminution des rendements par les conditions climatiques seulement, on note également l'absence de la vulgarisation agricole dans cette région.

L'analyse des 48 échantillons de sol depuis le mois de janvier jusqu'au de mars 2013 dans les différentes communes prospectées de la wilaya d'Ain Defla et d'un poids de 48 kg a montré une fréquence moyenne d'infestation de l'ordre de 77,08%.

Le nombre total des kystes recueillis est de 5294 kystes de *Globodera* avec une prédominance des kystes vides qui correspond à 94,57%. On peut expliquer ce résultat par les conditions favorables pour l'éclosion comme les conditions climatiques et la température en particulier et la présence de la plante hôte. Des contraintes culturelles, édaphiques et climatiques ont empêché la multiplication et la survie des larves. En revanche, le nombre de kystes pleins rencontré dans les parcelles étudiées est varié de 0 à 3,4 kystes pleins/100 g de sol. Cette densité est faible par rapport à celle obtenue par Brown en 1969, qui est de l'ordre de 0 à 60 kystes pleins/100g de sol a été rencontrée par hasardassez fréquemment principalement sur la tourbe et des sols de limon dans les comtés de l'Est de l'Angleterre. Par contre, elle se rapproche au résultat trouvé par Khenioui en 2011 (0 - 6,96 kystes pleins /100g de sol), concernant l'infestation des parcelles de pomme de terre dans la région de Mila et Djebroune en 2011 (0,6- 10,50 kystes pleins /100g de sol) relatif à l'infestation des parcelles de la culture de pomme de terre d'arrière saison par les *Globodera* dans la région d'Ain Defla.

De même, le degré d'infestation des parcelles prospectées par ce parasite (qui varie de 0 à 10,2 œufs/g de sol) est très différent aux résultats des travaux de Brown en 1969 à travers trente essais sur le terrain ont été menés de 1960 à 1967 dans les comtés de l'Est de l'Angleterre (0 - 150 œufs/g de sol) et différent complètement aux résultats trouvés par

Mazouz en 2011 qui a démontré que le taux d'infestation est varié de 124 à 334 œufs/g de sol dans les communes potentielles de la production de pomme de terre dans la wilaya de Chlef.

Dans la présente étude nous avons trouvé une différence significative entre les régions avec un gradient descendant du Nord (El Amra, Arib) au Sud (Tark Ibn Ziad et Bathia). Ceci peut être attribué aux façons culturales pratiquées dans les régions étudiées, de même probablement est dû aux conditions climatiques. En effet, les sites du Nord caractérisés par un climat froid et humide et ceux de Sud sont mois pluvieux.

Si l'on admet que le seuil de nuisibilité des nématodes à kyste de la pomme de terre est de 10 L₂/g de sol, celui-ci n'est pas dépassé dans toutes les parcelles prospectées à l'exception de la parcelle 2 de la commune d'Arib où le degré d'infestation est de 10,20 L₂/g de sol résulte de la fréquence de pomme de terre qui est menée en monoculture ou bien alternée avec la tomate.

Les données recueillies à travers notre enquête montre bien l'effet des conditions de milieu et les pratiques culturaux sur le développement des nématodes à kyste du genre *Globodera* qui se résument comme suit :

- **Les conditions édaphiques:** Le nématode doré de la pomme de terre c'est un endoparasite des racines, c'est-à-dire il vit dans le sol, donc il est obligatoirement soumis aux effets des conditions dans lesquelles il évolue. On trouve que le sol limono-argileux léger, aéré et poreux est plus favorable que le sol argileux qui est plus tassé.
- **Les conditions climatiques :** Plusieurs paramètres peuvent intervenir, il s'agit de :

La température : *Globodera rostochiensis* éclot mieux dans les températures 15 et 20°C alors que pour *Globodera pallida* la température optimale pour l'éclosion est quelque peu basse, entre 10 et 20°C (Salazar et Ritter, 1993), et les températures enregistrées dans la région d'étude durant la saison de croissance de la culture de la pomme de terre (de septembre à mars) ne dépassent pas largement ce seuil et dans les deux sens (voir tableau 3 dans le chapitre I). Donc c'est une température favorable au développement de ce nématode.

Humidité : L'eau est nécessaire pour le déplacement des larves (Schneider et Mugniéry, 1971). Dans la présente étude, humidité est convenable au niveau des sites d'attaque d'un nématode. En effet, le cycle végétatif de la pomme de terre coïncide avec une long période humide (de début d'octobre jusqu'au mars) et une courte période sèche (septembre) mais elle ne gêne pas le développement de parasite car la pomme d'arrière saison c'est une culture irriguée.

Malheureusement le manque des stations météorologique au niveau de la plupart des régions prospectées ne permet pas d'utiliser ce paramètre dans ce contexte.

- **Le système de rotation appliqué:** On a enregistré une forte infestation dans les parcelles où la pomme de terre est menée en monoculture. En revanche, on a noté une absence de parasite dans les parcelles où la culture ne revient pas sur 4 ans.

Dans le système de rotation appliqué, nous avons remarqué que la pomme de terre revient d'une à trois fois sur 4 ans ou bien absente pendant cette période, en se basant sur la jachère, les céréales, les Légumineuses, les Solanacées et les Cucurbitacées de façon très réduite (qui se limitent dans les petites exploitations privées).

La jachère travaillée est défavorable à ce nématode. Par contre, la jachère non travaillée favorise le développement de celui-ci.

Le système d'irrigation par aspersion et à la raie favorise le développement de parasite. Par contre, le système gouttes à gouttes défavorise le développement de ce nématode.

La majorité des plantations de pomme de terre sont faites dans des parcelles de grande superficie où la fertilisation est pour la plupart minérale.

En ce qui concerne la relation entre le degré d'infestation des *Globodera* et le rendement de la pomme de terre (variété Spunta) obtenu, on a constaté que ces deux variables sont étroitement liées entre eux avec un coefficient de détermination $R^2=0,77$ et une probabilité très hautement significative. Ces relations inverses ont été très importantes et clairement démontrées par l'analyse de régression non linéaire par Hajihassani *et al.* (2013), qui ont révélé que l'augmentation des niveaux de la population initiale a donné lieu à des rendements décroissants de façon exponentielle à une perte de rendement en tubercules qui est supérieur à 50% pour 32 œufs par gramme de sol dans la variété Spunta.

On a constaté que malgré la variété Spunta c'est une variété sensible aux *Globodera*, mais on peut obtenir des bons rendements dans les conditions défavorables au développement de ces parasites.

D'après les résultats obtenus dans notre enquête sur les facteurs qui peuvent expliquer l'infestation des parcelles par le nématode doré de pomme de terre dans la région d'Ain Defla, nous avons jugé utile de proposer une stratégie de lutte intégrée contre ce parasite qui se résume comme suit :

- **Rotation** : La rotation constitue la mesure de lutte la plus classique. 4 années de rotation constituent un minimum, mais il faut s'assurer que les repousses ne réapparaissent durant ces 4 ans. Durant cette période d'attente, on ne peut pas non plus cultiver d'autres plantes hôtes (tomates, aubergines,...). Il est conseillé d'introduire les cultures maraichères dans le système de rotation s'il s'agit d'un périmètre irrigué. Si ce n'est pas le cas, il faut faire des céréales, des fourrages ou bien la jachère travaillée afin d'éliminer les repousses, donc empêchera le cycle de s'accomplir.
- **Variétés résistantes ou tolérantes** : On favorisera des cultures et variétés moins sensibles aux nématodes. Il ne faut pas cultiver la même variété résistante dans la parcelle plusieurs années, afin d'éviter le problème de contournement.
- **Le désherbage** : Le désherbage chimique s'impose notamment dans les parcelles de multiplication de semence.
- **Labour** : Le labour d'été il est conseillé pour toutes les parcelles (la solarisation du sol permet une réduction importante de la population). Le labour de printemps pour les parcelles en jachère travaillée.
- **Hygiène au sein des exploitations** : Il est clair que le nettoyage systématique des machines diminue le risque de propagation.
- Il faut éviter l'usage des nématicides car ils présentent des effets néfastes pour l'agriculture et l'environnement.
- En fin l'analyse nématologique est indispensable pour avoir une idée sur l'état d'infestation et estimer la densité de la population.

Il semble donc que ce soit l'utilisation raisonnée et intégrée d'un certain nombre de moyens, variables d'une région à une autre, qui soit la solution pratique à appliquer. Il faut

mentionner que les interventions culturelles sont simples, raisonnables, efficaces, durables et économiques avec la préservation de l'environnement.

Conclusion générale

Les nématodes à kyste de la pomme de terre sont des ravageurs importants de la culture de la pomme de terre et font l'objet d'une réglementation stricte de quarantaine dans de nombreux pays, dont la lutte est obligatoire.

Dans le cadre d'une contribution à l'amélioration de la conduite de la pomme de terre et pour une meilleure connaissance de la sensibilité des variétés, les résultats de la présente étude met en évidence une différence de taux de multiplication des *Globodera* par trois variétés de pomme de terre en conditions naturelles. En effet, la variété Désirée montre un taux de multiplication élevé (3,73%) suivie par Spunta (2,36%) et Kondor (0,07%) avec un faible taux de multiplication. De même, l'étude montre une différence significative du nombre de kystes pleins entre la période avant la plantation de la culture et après la récolte pour la variété Désirée (de 5,75 à 21,5 kystes/kg de sol) et Kondor (de 6,5 à 0,5 kystes/kg de sol). Par contre, la différence non significative est obtenue pour la variété Spunta (de 2,75 à 6,5 kystes/kg de sol).

Le dénombrement des œufs des kystes de deux populations de *Globodera* appartenant à des parcelles de deux variétés de pomme de terre, révèle que les kystes qui sont issue de la Désirée présentent un nombre important des œufs (461,23 œufs/kyste) par rapport à ceux de Spunta (367,72 œufs/kyste).

L'étude biométrique de kystes des *Globodera* originaires de parcelles de trois variétés de la pomme de terre, révèle une large variabilité de taille à savoir longueur (L), largeur (I) et longueur du cou (LC) des kystes de ce nématode. En effet, les kystes de la variété Désirée ont une grande taille (L=399,28µm; I=383µm; LC=35,71µm) par rapport à ceux de la variété Spunta (L=393,44µm; I=381,58µm; LC=31,18µm). Tandis que, les kystes issus des parcelles de la variété Kondor présentent une petite taille (L=347,39µm; I=331,58µm; LC=30,49µm).

En ce qui concerne l'étude de l'effet de ce nématode phytophage sur les paramètres de croissance des trois variétés de pomme de terre, montre que ce parasite influencé seulement sur le poids moyen des tubercules, sur la production par plant et sur le rendement. L'effet sur le nombre de tubercules par plant est négligeable.

La lutte contre ces nématodes nécessite une connaissance parfaite de ce parasite notamment leur répartition et les facteurs déterminant leur développement. Dans ce contexte, les résultats de la présente étude révèlent la présence de ce parasite dans toutes les communes prospectées à Ain Defla pour la culture de pomme de terre d'arrière saison variété Spunta, à l'exception la commune de Bathia caractérise par un sol lourd et un système de rotation défavorable au développement de ce parasite.

Cette étude fait ressortir une différence entre les parcelles prospectées au sein d'une même commune et avec des communes différentes mais ne dépasse pas le seuil de nuisibilité qui est reconnu en Algérie (de 10 L₂/g de sol) sauf le cas dans la commune d'Arib avec 10,24 L₂/g de sol, qui peut être expliquée par la semence, le type de rotation et les moyens de prévention utilisés car la lutte chimique n'est pas utilisée pour le moment. Il serait intéressant de ne pas la recommander, mais les techniques agrotechniques sont nécessaires.

De même, on a trouvé une différence d'infestation entre les régions avec un gradient descendant du Nord au Sud. Les sites du Nord sont les plus infestés, suivis respectivement par les sites du Centre, d'Ouest, d'Est et du Sud. Les parcelles de ces derniers sont indemnes de ce parasite. Ceci peut être attribué aux façons culturales pratiquées dans les régions et aux conditions climatiques.

Les sols légers, les variétés sensibles et la mauvaise rotation des cultures sont des facteurs favorables au développement de nématode doré de pomme de terre.

Etant donné que la variété Spunta une variété sensible aux nématodes à kyste du genre *Globodera*, on a constaté que certaines parcelles de ce cultivar sont indemnes de ces parasites avec l'obtention d'un bon rendement de la culture. Cela est dû aux interventions culturales utilisées (la rotation culturale, système d'irrigation, semence certifié, le labour) qui empêchent le développement de ces nématodes.

De même, on a révélé que le degré d'infestation des parcelles étudiées par les *Globodera* est en étroite relation avec le rendement de la culture de pomme de terre avec un coefficient de détermination $R^2=0,77$ et une probabilité très hautement significative. Plus l'effectif de larve augmente, plus le rendement diminue.

Néanmoins, la difficulté dans la détection visuelle de ce ravageur, le manque de la vulgarisation agricole dans nos régions ainsi que le manque d'intérêt des agriculteurs à toute action de sensibilisation pour lutter contre ce nématode, sont les causes majeure de l'installation et la propagation de *Globodera* sp.

La monoculture et la pratique d'une rotation non raisonnée sont des facteurs qui favorisent l'infestation des sols par ces parasites. Donc, il faut introduire des cultures non hôte au nématode doré de pomme de terre et de longue rotation afin de limiter leur dissémination et leur propagation dans les parcelles saines et leur développement dans les parcelles infestées. Il faut appliquer une lutte intégrée bien efficace contre ces parasites.

Cependant, la rotation reste le meilleur moyen de lutte contre ces parasites car il s'agit de méthodes économiques non polluantes et respectueuses vis-à-vis de l'environnement.

Au terme de ce travail de recherche basé sur l'infestation des parcelles de pomme de terre par *Globodera* sur le terrain, nous avons déduit qu'une connaissance parfaite du développement de ce nématode pour une meilleure gestion exige de prospections régulières et permanentes pour mener une lutte contre ce fléau.

Une bonne maîtrise des facteurs favorisant la pullulation et la propagation des nématodes du genre *Globodera* et une bonne campagne de sensibilisation des agriculteurs sur les dégâts que peuvent occasionner ces nématodes à kyste, pourrait prévenir l'installation de ce ravageur dans nos plantations ainsi que la mise en place d'une bonne stratégie de lutte.

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

Il serait intéressant de poursuivre les études pour identifier les espèces de ce genre, évaluer l'infestation dans plusieurs parcelles de la région et développer la biologie de ce nématode en accordant une attention particulière aux pathotypes de ce parasite.

Les tests de sensibilité des variétés de pomme de terre aux attaques des nématodes sont nécessaires pour une meilleure connaissance des variétés résistantes, afin

d'augmenter la production de cette culture et de la mieux protéger contre ces parasites dans le temps et dans l'espace.

Références bibliographiques

- A.C.I.A., 2006 (Agence Canadienne d'Inspection des Aliments)- *Gestion intégrée des nématodes à kyste de la pomme de terre*. <http://publications.gc.ca/colections/colecion-2010/agr/A52-138-2009-fra.pdf> .
- Agrios G.N., 2005 - *Plant Pathology*, 5th edn. Ed. Academic Press, USA, 922 p.
- Altun Z.F. et Hall D.H., 2010 - *Atlas of Caenorhabditis elegans anatomy*, <http://www.wormatlas.org/handbook/contents.htm>. Consulter le 15-03-2011
- Ameziane L., 2009 - Panorama général de la culture de pomme de terre au Maghreb. Revue *FILAHA INNOVE*, n° 03, 10 p.
- Amirouche L., 2009 - Le développement de la culture de pomme de terre en Algérie : rappels historiques et état des lieux. Revue *FILAHA INNOVE*, n° 03, 7 p.
- Anonyme, 2008 - *Agriculture et développement, année internationale de la pomme de terre*. Ed. INVA (Institut National de la Vulgarisation Agricole), n°8, 58 p.
- Anonyme, 2011 - *La surveillance du territoire vis-à-vis des nématodes dorés de la pomme de terre*. Ed. Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, France, 13 p.
- Anonyme, 2012a - La production de pomme de terre devrait atteindre 4 millions de tonnes en 2012. Radio Algérienne 119 326, Rédaction Radionet - Lundi, 25 Juin 2012 09:56. file:///C:/Users/I3/Desktop/pomme6.htm
- Anonyme, 2012b - La pomme de terre. Bilan de campagne 2010/2011. Ed. AgriMer (Etablissement National des produits de l'agriculture et de la mer) et MAAPRAT (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire), France, 8 p.
- Balandras C., Mugniéry D. et Rousselle P., 1991 - Test de descendance pour la résistance à *Globodera pallida* Pa2/3 Stone chez la pomme de terre. *Potato Research*, 34 :343-352.
- Baloul D., 2012 - *Contribution à l'étude de la bioécologie des nématodes à kystes, (Globodera sp.) inféodés à la culture de la pomme de terre*. Thèse de magister en Science Agronomique, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach, Alger, 116 p.
- Belhadj Ben Yahia F., 2007 - *Variation de l'infestation de quelques parcelles de pomme de terre par le nématode doré du genre Globodera. Test de sensibilité de deux variétés (Desirée et Spunta) au laboratoire*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 57 p.
- Bellerive G., 2010 - La galle commune de la pomme de terre. Réseau d'avertissements phytosanitaires. *Bulletin d'information* n° 07, pomme de terre. Ed. Bruno Gosselin, agronome et Cindy Ouellet, RAP, 5 p.

- Bélair G., 2005 - Les nématodes, ces anguillules qui font suer les plantes... par la racine. *Phytoprotection*, 86 (1) : 65-69.
- Blancard D., Candresse T., Laterrot H. et Marchoux G., 2009 - *Les maladies de la tomate: Identifier, connaître, maîtriser*. Ed. Quea, France, 690 p.
- Blanchard A., 2006 - *Identification, polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kyste de la pomme de terre Globodera pallida*. Thèse de doctorat en Biologie, Université de Rennes1/Agrocampus, 264 p.
- Blaxter M.L., 1998 - *Caenorhabditis elegans* is a Nematode. *Science*, 282 (5396): 2041-2046.
- Blumenthal T. et Davis R.E., 2004 - Exploring nematode diversity. *Nature Genetics*, 36: 1246-1247.
- Bougar D., 2010 - *Etude des nématodes à kystes du genre Globodera inféodés à la culture de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Centre Universitaire de Khemis Miliana, 109 p.
- Boutehra R., 1992 - *Effet de jachère travaillée sur la mortalité des larves de Globodera sp. sur la pomme de terre dans le domaine Boudhar (Ain Taya)*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 32 p.
- Brodie B.B., 1996 - Effect of initial nematode density on managing *Globodera rostochiensis* with resistant cultivars and non hosts. *Journal of Nematology*, 28 (4): 510-519.
- Brown E.B., 1969 - Assessment of the damage caused to potatoes by potato cyst eelworm, *Heterodera rostochiensis* Woll. *Annals of Applied Biology*, 63: 493-502.
- CABI et OEPP, 1990 - Fiche informative sur les organismes de quarantaine : *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. CABI et l'OEPP, préparé par le CABI et l'OEPP pour l'UE sous Contrat 90/399003, 6 p.
- Caubel G., Persson F. et Rivoal R., 1980 - Les nématodes dans les rotations céréalière. *Perspectives Agricol*, 36: 31-48.
- Cayrol J.C., 1975 - Comment se maintenaient les nématodes dans le sol ? *Rev.P.H.M.*, 155 : 31-35.
- Chakali G., 2006 - *Biologie et écologie de l'Hylésine des pins, Tomicus destruens Wollaston, 1865 (Coleoptera-Scolytidae) dans la forêt de Senalba Chergui (Djelfa-Algérie)*. Thèse de doctorat en Science Agronomique, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 139 p.
- Chauvin L., Caromel B., Kerlan M.C., Rulliat E., Fournet S., Chauvin J.E., Grenier E., Ellissèche D. et Mugniéry D., 2008 - La lutte contre les nématodes à kyste de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. *Cahiers Agricultures*, 17(4) : 368-374.
- Clarke A.J. et Hermessy J., 1983 - The role of calcium in the hatching of *Globodera rostochiensis*. *Revue Nematol.*, 6(2) : 247-255.
- Coyne D.L., Nicol J.M. et Claudius-Cole B., 2010 - *Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire*. Ed. IITA (International Institute of Tropical Agriculture), Nigeria, 93 p.

- Cronquist A., 1988 - *The evolution and classification of flowering plants*. Ed. New York Botanical Garden Pr Dept (2nd edition), New York, 555 p.
- Darpoux R. et Debelley M., 1967 - *Les plantes sarclées*. Ed. BAILLIERE et FILS, Paris, 307 p.
- Delagarde J., 1983 - *Initiation à l'analyse des données*. Ed. Dunod, Paris, 157 p.
- Den Nijs L.J.M.F. et Lock C.A.M., 1992 - Differential hatching of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* in root diffusates and water of differing ionic composition. *Neth J.PL.Path.*, 36: 251-260.
- Desgarennés D., Carrión G., Núñez-Sánchez A. E. and Núñez-Camargo M.C., 2006 - Distribution of stages and in vitro larval hatching in *Globodera rostochiensis* cysts. *Nematotropica*, 36 (2): 251-260.
- Djebroune A., 2011 - *Etude des nématodes à kystes du genre Globodera inféodés à la culture de la pomme de terre dans la wilaya d'Ain-Defla*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Centre Universitaire de Khemis Miliana, 116 p.
- Duvauchelle S. et Dubois L., 1997 - Evolution sanitaire des cultures de pommes de terre en 1996: Marquée par une recrudescence des pucerons. *Phytoma - LdV*, 495 :17-19.
- Evans K., 1993 - New approaches for potato cyst nematode management. *Nematotropica*, 23: 221-231.
- Evans K. et Stone A.R., 1977 - A review of the distribution and biology of the potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallid*. *Pans*, 23:178-189.
- Ferraz L.C.C.B. et Brown D.J.F., 2002 - *An introduction to nematodes: plant nematology*. Ed. Derek J.F., Brown B.A., 221 p.
- Fleming C.C. et Powers T.O., 1998 - Potato cyst nematode diagnostics: morphology, differential hosts and biochemical techniques. Pp. 91-114 in Marks R.J. and Brodie B.B. (Eds.), *Potato cyst nematodes: biology, distribution and control*. Ed. CAB International, Oxon, UK, 420 p.
- Fournet S., Renault L., Rouaux C., Le Cointe R., Dantec J.P., Bozec M. et Kerlan M.C., 2011 - Efficacité, durabilité, productivité : la recherche du compromis - Cas du couple. *Innovations Agronomiques*, 15 : 79-88.
- Franco J., 1994 - Problemas de nematodos en la producción de papa en climas templados en la región Andina. *Nematropica*, 24:179-195.
- Fudali S., Sobczak M., Janakowski S., Griesser M., Grundler F.M. et Golinowski W., 2008 - Expanses are among plant cell wall modifying agents specifically expressed during development of nematode-induced syncytia. *Plant Signal Behav.*, 03 (11): 969-971.
- Gaugler R. et Bilgrami A.L., 2004 - *Nematode behavior*. Ed. CAB international, London, 419 p.
- Golden A.M. et Ellington D.M.S., 1972 - Redescription of *Heterodera rostochiensis* (Nematoda: Heteroderidae) with a key and notes on closely related species. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 39(1): 64-78.

- Gonzales J.A. et Phillips M.S., 1996 - Hatching behavior of potato cyst nematodes from the Canary Islands. *Journl of Nematology*, 28(4): 451-456.
- Greco N., 1988 - *Potato cyst nematodes: Globodera rostochiensis* and *G. pallid.* Ed.Fla. Deot. Agri. et Consumer Serv., Nematologist, Agraria, Italy, 337 p.
- Greco N., Inserra R.N., Brandonisio A., Tirro A. et Marinis G., 1988 - Life cycle of *Globodera rostochiensis* on potato in Italy. *Nematol.medit.*, 16: 69-73.
- Groza M., Rosca I., Costache C. et Boros L., 2011 - Research regarding the identification of *Globodera* spp. Using morphological characters and polymerase chain reaction in Romania. *Scientific Papers, UASVM Bucharest, Series A, Vol. IIV*: 409-413.
- Hajihassani A., Ebrahimian E. and Hajihassani M., 2013 - Estimation of yield damage in potato caused by Iranian population of *Globodera rostochiensis* with and without aldicarb under greenhouse conditions. *Int. J. Agric. Biol.*, 15: 352-356.
- Hammouda C., 1991 - *Biosystématique de deux espèces de Globodera pallida et Globodera rostochiensis, nématodes à kyste sur pomme de terre.* Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 58 p.
- Hlaoua W., Kallel S. et Horrigue-Raouani N., 2010 - Effets des composantes de l'environnement et des pratiques culturales sur les communautés des nématodes associées à la culture de pomme de terre en Tunisie. *Nematol. medit.*, 38: 13-26.
- Hodda M. et Cook D.C., 2009 - Economic impact from unrestricted of spread potato cyst nematodes in Australia. *Phytopatology*, 99 (12): 1387-1393.
- Holz R.A., Riga E. et Atkinson H.J., 1998 - Seasonal changes in the dorsal pharyngeal gland nucleolus of unlatched second-stage juveniles of *Globodera* spp. In Bolivia. *Journal of Nematology*, 30(3): 291-298.
- Hugot J.P., Baujard P. and Morand S., 2001 - Biodiversity in helminthes and nematodes as a field of study: an overview. *Nematology*, 3(3): 199-208.
- Ibrahim S.K., Minnis S.T., Barker A.D.P., Russell M.D., Haydock P.P.J., Evans K., Grove I.G., Woods S.R. et Wilcox A., 2001 - Evaluation of PCR, IEF and ELISA techniques for the detection and identification of potato cyst nematodes from field soil samples in England and Wales. *Pest Management Science*, 57(11): 1068-1074.
- I.N.P.V., 2009 (Institut National de la Protection des Végétaux) - *Nématodes à kystes de la pomme de terre Globodera rostochiensis et G. pallida.* Ed. INPV, 4 p.
- I.T.C.M.I., 2005 (Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles) - *La production de la pomme de terre en Algérie. Agriculture et développement.* Ed. INVA, Alger, pp. 8-10.
- Jones F.G.W., 1982 - *The soil plant environment in plant nematology.* Ed. Southey, London, pp.1-7.
- Kacem N., 1992 - *Répartition des nématodes à kystes de la pomme de terre dans la wilaya de Boumerdes.* Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 72 p.
- Khenioui A., 2011 - *Impact des rotations sur l'infestation des cultures de céréales et de la pomme de terre par les nématodes à kystes du genre Hétérodera et Globodera*

- dans la région de Mila. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach, Alger, 88 p.
- Kort J., 1974 - Identification of pathotypes of the potato cyst nematode. *Bulletin OEPP/EPPO* (4): 511-518.
- Kort J., Ross H., Rumpfenhorst H.J. and Stone A.R., 1977 - An international scheme for the identification of pathotypes of potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologica*, 23(3): 333-339.
- Lambion J., 2006 - Protection phytosanitaire en culture de pomme de terre biologique, Fiche n° 1 : Lutte contre les champignons et les bactéries pathogènes. Ed. ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique), Paris, 4 p.
- LÊ C., Thomas D. et Nowbuth L., 2002 - Conservation de pomme de terre in vitro et caractérisation des variétés cultivées en suisse. *Suisse Agric.*, 34(3):133-136.
- Legendre et Legendre, 1984 - *Ecologie numérique - la structure des données écologiques*. Ed. Masson, Paris, coll. "Presses Université du Québec", T.2, 335 p.
- Leveillard J.P., 2011 - Pomme de terre. *Bulletin de santé du végétal*, région centre, n° 3, 3 p.
- Lilley C.J., Urwin P.E. and Atkinson H.J., 1999 - Characterization of plant nematode genes: Identifying targets for a transgenic defense. *Parasitology*, 118: 63-72.
- Mai W.F., 1977 - Worldwide distribution of potato-cyst nematodes and their importance in crop production. *Journal of Nematology*, 9(1): 30-34.
- Mazouz K., 2011 - *Etude préliminaire de la répartition et de la distribution des nématodes à kyste de la pomme de terre, du genre Globodera dans la wilaya de Chlef*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Université Hassiba Ben-Bouli, Chlef, 75 p.
- Merah F., 1998 - *Etude comparative de l'infestation des régions du littoral et les plaines intérieures par le nématode doré de la pomme de terre*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 74 p.
- Meziane D., 1991 - Histoire de la pomme de terre. *Detitique*, n°25, 29 p.
- Mokhtar D., 2005 - *Etude et suivi de l'exploitation d'un périmètre irrigué en micro irrigation (ferme pilote Bir Ould Khelifa-wilaya d'Ain Defla)*. Mémoire d'ingénieur en Hydraulique, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique « Arbaoui Abdellah », Blida, 100 p.
- Mokhtari A., 2007 - *Contribution à l'étude de l'impact d'une rotation sur l'évolution des densités de deux nématodes Heterodera et Globodera (Nématoda-Heteroderidae) à Mekhatria (Ain Defla)*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 84 p.
- Moxnes J.F. et Hausken K., 2007 - The population dynamics of potato cyst nématodes. *Ecological modelling*, 207: 339-348.
- Mugniéry D., 1978 - Vitesse de développement, en fonction de la température, de *Globodera rostochiensis* et *G. pallida* (Nematoda : Heteroderidae). *Rev. Nématol.*, 1 (1) : 3-12.
- Mugniéry D., 1979 - Hybridation entre *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) et *G. pallida* (Stone). *Revue de Nematologie*, 2(2) :153-159.

- Mygniéry D., 1982 - Diversités régionales d'application de lutte intégrée en culture de pomme de terre en fonction de la variabilité des populations de nématodes à kystes. *I.N.R.A.*, Rennes 2 (7) : 629-644.
- Mugniéry D., 1984 - Les nématodes de la pomme de terre. *Agro.*, Vol. III, France : 45-50.
- Mugniéry D. et Balandras C., 1986 - Test de résistance de descendance de la pomme de terre à *Globodera rostochiensis* Woll. *Revue Potato Research*, 29(1) : 131-140.
- Mugniéry D. et Fayet G. 1984 - Détermination du sexe de *Globodera rostochiensis* Woll. et influence des niveaux d'infestation sur la pénétration, le développement et le sexe de ce nématode. *Revue de Nématologie*, 7 (3), 233-338.
- Mugniéry D., Robert Y. et Blanc M., 1996 - *Ennemies animaux : Nématodes*. Pp. 163-183 in Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C., (Eds.), *La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation*. Ed. INRA, Paris, 607 p.
- Mylvey R.H. and Golden A.M., 1983 - An illustrated key to the cyst-forming genera and species of Heteroderidae in the Western Hemisphere with species morphometrics and distribution. *Journal of Nematology*, 15(1): 1-59.
- Nakachia J.M. et Jacquemont R., 1971 - *L'analyse nématologique*. Pp.759-792 in *Les nématodes des cultures* - Journées d'études et d'information. Ed. ACIA et PNGPC, Paris, 828 p.
- Nouad M.A., 2009 - Problématique sur la pomme de terre. *Revue FILAHA INNOVE*, n° 03, pp. 5-6.
- Nugaliyadde M.M. et Perera A., 1994 - Histopathological responses of potato cyste nematode, *Globodera rostochiensis*, *ROI.*, *Agricultural research station, Sita eliya, Nuwara Eliya*, pp. 156-170.
- Nyabyenda P., 2005 - *Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique*. Ed. CTA (Centre Technique de Coopération), Belgique, 223 p.
- OEPP/EPPO, 2006 - PM 3/68 (1) : Procédures phytosanitaires : test de variétés de pommes de terre pour évaluer leur résistance à *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*, 3 p.
- OEPP/EPPO, 2004 - PM 7/40(2): *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallid*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 39: 354-368.
- OEPP/EPPO, 2009 - PM 7/40(1): *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallid*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 34: 309-314.
- OEPP/EPPO, 2013 - PM 7/40(3): *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallid*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 43 (1): 119-138.
- Olsson C., 2009 - *Characterization of mechanisms involved in hatching of the potato cyst nematode*. Ed. SLU, London, 22 p.
- Oswaldo T., 2010 - *Hommage à la pomme de terre*-(Filière Nutrition et Diététique). Ed. Hes.so (Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale), Genève, 11 p.
- Perlak F.J., Stone T.B., Muskopf Y.M., Petersen L.J., Parker G.B., McPherson S.A., Wyman J., Love S., Reed G., Biever D. et Fischhoff D.A., 1993 - Genetically

- improved potatoes: protection from damage by Colorado potato beetles. *Plant Mol Biol*, 22: 313-321.
- Perry R.N., 1994 - Studies on nematode sensory perception as a basis for novel control strategies. *Fundamental and Applied Nematology*, 17(3): 199-202.
- Perry R. N., 1998 - The physiology and sensory perception of potato cyst nematodes, *Globodera* species. Pp. 27-49 In Marks R. J. and Brodie B. B. (eds.). *Potato cyst nematodes: Biology, distribution and control*. Ed. CAB International, Wallingford, UK. 408 p.
- Philips M.S., Harrouwer B.E., Trudgill D.L., Catley M.A. et Waugh R., 1992 - Genetic variation in British population of *Globodera pallida* as revealed by isozyme and DNA analysis. *Nematologica*, 38(3): 304-319.
- Picard D., 2005 - *Génétique des populations et phylogéographie du nématode à kyste de la pomme de terre (Globodera pallida) au Pérou*. Thèse de doctorat en Biologie, Université de Rennes1/ Agrocampus, 185 p.
- Poch H.L., Lopez R.H. et Kanyuka K., 2006 - Functionality of resistance gene *Hero*., which controls plant root-infecting potato cyst nematodes, in leaves of tomato. *Plant Cell Environ*, 29(7): 1372-1378.
- Polypenko L., Uehara T., Phillips M., Sigareva D. et Blok V., 2005 - Identification of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in the Ukraine by PCR. *European Journal of plant pathology*, 111(1): 39-46.
- Rakotonindrainy T.F., 2012 - *Analyse et modélisation des effets des pratiques culturales sur les épidémies de mildiou de la pomme de terre. Adaptation du modèle SIPPOM (Simulator for Integrated Pathogen Population Management) au pathosystème*. Thèse de doctorat en Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement, Université de Toulouse, 160 p.
- Rayan 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 *Globodera pallida*. *Nematology*, 6 (3): 375-387.
- Reid A., 2009 - PCR detection of potato cyst nematode. *Methods Mol Biol*, 508: 289-294.
- Riga E., Perry R.N. et Barrett J., 1996 - Electrophysiological analysis of the response of males of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* to their female sex pheromones and to potato root diffusate. *Nematologica*, 42: 493-498.
- Ritter M., 1986 - Connaissance nouvelles sur la biologie des nématodes. Conséquences pratiques. C. R., *Acad. Agri.*, n°7, France, pp. 691-704.
- Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C., 1996 - *La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation*. Ed. INRA, Paris, 607 p.
- Salam Attia S., 2010 - *Etude de nématode doré de la pomme de terre (Globodera, Tylenchida, Heteroderidae) associée aux céréales dans la région de Chleff*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach, Alger, 72 p.

- 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 *Globodera pallid*. *Fundam. Appl. Nématol.*, 16(06): 567-572.
- Schneider J. et Mugniéry D., 1971 - *Les nématodes parasites de la pomme de terre*. Pp. 327-348 in *Les nématodes des cultures – Journées françaises d'études et d'information*. Ed. ACTA et FNGPC, Paris, 828 p.
- Sijmons P.C., Atkinson H.J. and Wyss U., 1994 - Parasitic strategies of root nematodes and associated host cell responses. *Annual Review of Phytopathology*, 32: 235-259.
- Sirca S., Geric S.B., Strajnar P. et Urek G., 2010 - PCR-RFLP diagnostic method for identifying *Globodera* species in Slovenia. *Phytopathologia Mediterranea*, 49: 361-369.
- 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.
- Smant G., Goverse A., Stokkermans J.P., De Boier J.M., Pomp H.R., Zilverentant J.F., Overmars H.A., Helder J., Schots A. and Bakker J., 1997 - Potato root diffusate-induced secretion of soluble, basic proteins originating from the subventral esophageal glands of potato cyst nematodes. *Phytopathology*, 87(8): 839-845.
- Soltner D., 1999 - *Les grandes productions végétales*. Ed. CSTA (Collections Sciences et Techniques agricoles), Angers, 490 p.
- Soltner D., 2005 - *Les grandes productions végétales*. Ed. CSTA (Collection Sciences et Techniques agricoles), 20^{ème} édition, Angers, 472 p.
- Spire D. et Rousselle P., 1996 - *La plante; origine socio-historique*. Pp. 25-48 in Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C., 1996 (Eds.), *La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation*. Ed. INRA, Paris, 607 p.
- Stone A.R., 1972 - *Heterodera pallida* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae), a second species of potato cyst nematode. *Nematologica*, 18(4): 591-606.
- Stone A.R., 1975 - Taxonomy of potato cyst nematode. *Bulletin OEPP*, 5: 79-86.
- Stuart J., Wale H., William P., Nigel D. et Cattlin A., 2008 - *Diseases, pests and disorders of potatoes: a color handbook*. Ed. Academic press, USA, 176 p.
- Sullivan M.J., Inserra R.N., Franco J.I., Moreno-Leheude A. and Greco N., 2007 - Potato cyst nematodes: Plant host status their regulatory impact. *Nematropica*, 37: 193-201.
- Swiecicka M., Filipecki M., Lont D., Van Vliet J., Qin L., Goverse A., Bakker J., Helder J., 2009 - Dynamics in the tomato root transcriptome on infection with the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Mol. Plant. Pathol.*, 10(4):487-500.
- Taylor A.L., 1968 - *Introduction à la recherche sur les nématodes phytoparasite*. Ed. Manuel F.A.O., Rome, 135 p.
- Tiilikala K., 1991 - Effect of crop rotation on *Globodera rostochiensis* and on potato yield. *Ello Bulletin*, 21(1): 41-47.
- Tobin J.D., Haydock P.P.J., Hare M.C., Woods S.R. and Crump D.H., 2008 - Effect of the fungus *Pochonia chlamydosporia* and fosfiazate on the multiplication rate of

- potato cyst nematodes (*Globodera pallida* et *Globodera rostochiensis*) in potato crops grown under UK field conditions . *Biological control*, 46: 194-201.
- Trifonova Z. et Karadjova J., 2003 - Fungal parasitism of the cyst and eggs of the *Globodera rostochiensis*. *Journal of Agriculture Science*, 48(1): 103-110.
- Trigiano R.N., Windham M.T. et Windham A.S., 2004 - *Plant pathology: Concepts and laboratory exercises*. Ed. CRC press, Washington, 702 p.
- Turcotte P., Bélair G., Moffett P., Belzile F. et Mimee B., 2013 – *RAPPORT FINAL DPAI # 05026 - Développement d'une stratégie de gestion intégrée contre les nématodes à kyste de la pomme de terre, Globodera rostochiensis et G. pallida, au Canada*. Ed. Centre de recherche Les Buissons inc et Agriculture et Agroalimentaire Canada, Canada, 115 p.
- Turner S.J., 1996 - Population decline of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*) in field soils in Northern Ireland. *Annals of applied Biology*, 129(2): 315-322.
- Turner S. J. and Rowe J. A., 2006 - Cyst nematodes. Pp.91-121 in Roland N.P. et Moens M. (Eds), *Plant Nematology*. Ed. CABI, London, 463 p.
- Turner S.J., Stone A.R. and Perry J.N., 1983 - Selection of potato cyst nematodes on resistant *Solanum vernei* hybrids. *Euphytica*, 32: 911-917.
- Vejl P., Skupinova S., Sedlak P. and Domkarov J., 2002 - Identification of PCN specie (*Globodera rostochiensis*, *G. pallida*) by using of ITS-1 region's polymorphism. *Rostinna Vyroba*, 11: 486-489.
- Vereijken P. and van Loon C.D., 1991 - A strategy for integrated low-input potato production. *Potato Research*, 34: 57-66.
- Wolfgong R., 1991 - *Maladies et ravageurs de la pomme de terre*. Ed. TH., MANN, France, pp. 131-134.
- Yepsen Roger B., 1984 - The encyclopedia of natural insect and disease control. Rev. Rodale Press, Emmaus, Pa., pp. 267-271.
- Ziouani D. et Boukhelifa A., 1994 - *Biologie du nématode du genre Globodera : Essai de comportement de quelques Solanacées vis-à-vis de ce nématode*. Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 116 p.

Annexes

Profondeur (cm)		0 à 40	40 à 100	100 à 140
Argile	%	30.02	28.10	92.21
Limon fin	%	47.85	44.61	32.29
Limon grossier	%	8.80	7.05	10.06
Sable fin	%	3.97	8.26	14.73
Sable grossier	%	4.46	3.61	3.89
Matière organique	%	1.84	0.76	
C	%	10.84	4.49	
N	%	1.30	0.79	
C/N	%	8.34	5.7	
CaCO ₃	%	13.5	17.9	
Ca ⁺⁺	meq/100g	24	19	
Mg ⁺⁺	meq/100g	2	1.8	
K ⁺	meq/100g	0.55	0.63	
Na ⁺	meq/100g	0.65	0.56	
T	meq/100g	33.40	32.67	
pH		7.7	7.7	7.9
Conductivité électrique (mmhos/cm)		0.6	0.7	0.9
Humidité	%	1.03	1.05	1.06
Densité réelle				
Densité apparente				
P ₄₂		12.4	12.1	11.8
P ₃		23.7	21.6	19.1
P _{2.5}		27.6	27.6	24.7

Tableau 1. Composition physico-chimique du sol de la ferme pilote de Si Brahim Benbrik. (Mokhtar, 2005).