



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERY de TIZI-OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire de master II

en Sciences Agronomiques

Spécialité: PROTECTION DES PLANTES CULTIVEES

Thème

**Variation saisonnière de l'abondance de la méso faune sous une
culture de Pomme de Terre : Cas des sols de Boukhalfa**

Présenté par : Mlle BOUBRIT Anissa

Présidente : **Mme Smail Saadoum N.**

Pr. U.M.M.T.O.

Promotrice : **Mme Boudiaf Nait Kaci M.**

M.C.B. U.M.M.T.O.

Examinatrices : **Mme Setbel S.**

M.C.A U.M.M.T.O.

Mme Mestar N.

M.A.A U.M.M.T.O.

Promotion 2014-2015

REMERCIEMENTS

Et voilà c'est le moment pour moi d'écrire cette partie tant désirée.

Heureuse d'être arrivée jusque là, heureuse de pouvoir remercier tous les gens qui m'ont soutenu, qui ont cru en moi et que j'ai eu la chance de connaître durant ces 3 derniers mois de la préparation de ce mémoire de fin d'étude,

Ô période inoubliable de ma vie.....

Tout d'abord mes remerciements les plus forts sont pour mon encadreur. Madame Nait Kaci Malika, qui a accepté de me former tout au long de cette étude. Un grand merci pour tout ce que vous m'avez inculqué (le savoir, la force que vous avez à faire passer des messages difficiles à faire passer, la patience, la vulgarisation scientifique...). C'est grâce à vous que j'arrive ici et que mon chemin semble continuer dans la Recherche, vous êtes un modèle pour moi, j'espère un jour vous ressembler et que je resterai toujours votre étudiante.

La deuxième personne que je tiens à remercier c'est Madame Smail Saadoum N., qui a accepté de m'accueillir dans le laboratoire de recherche Ressources Naturelles UMMTO et qui m'a aidé et conseillé pendant ce mémoire mais aussi a tout le personnel du laboratoire .

J'adresse mes vifs remerciements à Madame Mestar N. et Madame **Setbel S.** qui ont accepté d'évaluer ce travail de fin d'étude et d'avoir fait le déplacement à cette période de l'année.

Je remercie aussi tout le personnel du centre ITMAS de Boukhalfa, particulièrement Monsieur le Directeur et l'équipe qui nous a donné tout ce que nous avons demandé comme matériel et informations sur la parcelle expérimentale.

Je remercie aussi le personnel du laboratoire de science du sol ainsi que les étudiants que j'ai croisé pendant la phase analytique de mon travail.

Je souhaite finir ces remerciements sur ma plus grosse pensée qui va à mes proches, qui m'ont tellement soutenu et qui m'ont toujours encouragé à aller de l'avant.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à ma très chère Badie.....

Résumé

La plupart des espèces se retrouvent dans les premiers centimètres du sol où les concentrations en matière organique et en racines sont les plus élevées. L'identification, le comptage et la caractérisation de la diversité des organismes vivants dans le sol permettent de définir des indicateurs pertinents qui renseignent sur la qualité biologique des sols et leur environnement. Le bio fonctionnement des sols regroupe l'ensemble des fonctions assurées par les organismes vivants dans ce sol et qui en interaction avec les composantes physiques et chimiques de celui – ci permettent la dynamique de la matière organique, le recyclage des nutriments et la dynamique de l'eau.

Le travail vise à évaluer l'abondance de la méso faune des sols sous une culture de Pomme de Terre afin de comparer la distribution de ces invertébrés : les nématodes, les acariens et les collemboles, avec la profondeur de chaque sol sur deux niveaux (N1, N2) avec la détermination d'un effet saison et effet sol. Cela permet de construire une base de données pour ce type d'agro système. Un second objectif est d'apporter des éléments de connaissance sur la variation et la dynamique de la méso faune des sols sous cette culture qui est d'une importance socio-économique pour l'Algérie.

Resume

Most species are found in the top few centimeters of the soil where the concentrations of organic matter and roots are highest. The identification, counting and characterizing the diversity of living organisms in the soil used to define relevant indicators that provide information about the organic quality of the soil and environment. The soil organic operation combines all of the functions of living organisms in the soil and interact with the physical and chemical components of it - they allow the dynamics of organic matter, nutrient recycling and the dynamics of water.

The work aims to assess the abundance of fauna meso soil in a culture of Potato to compare the distribution of these invertebrates: nematodes, mites and springtails, with the depth of each ground on two levels (N1 , N2) with the determination of a seasonal effect and floor effect. This helps to build a database for this type of agro system. A second objective is to bring elements of knowledge on the variation and dynamics of fauna meso soil in this culture which is of socio-economic importance for Algeria.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les données bioclimatiques d'ITMAS	23
Tableau 2 : Variation des humidités des sols.....	35
Tableau 3 : Données quantitatives des abondances de la méso faune.	37
Tableau 4 : Données quantitatives des nématodes durant la période estivale.....	39
Tableau 5: Variation saisonnière des abondances de Nématodes.....	41
Tableau 6 :Analyse de variance des acariens par rapport au site	42
Tableau 7: Analyse de variance des collemboles avec le facteur point	43
Tableau 8 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur point	43
Tableau 9 : Analyse de variance des acariens avec le facteur niveau.....	44
Tableau 10 : Analyse de variance des collemboles avec le facteur niveau	44
Tableau 11 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur niveau.....	44
Tableau 12 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur point	45
Tableau 13 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur niveau.....	46
Tableau 14 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur point	46
Tableau 15 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur niveau.....	46

Liste des Figures

Figure 1 : Classification des invertébrés du sol selon leurs taille	5
Figure 2: Morphologie d'un nématode	7
Figure 3: Morphologie des acariens	8
Figure 4: La morphologie des collemboles	9
Figure 5 : Diverses formes de nématodes, comme observées à travers le microscope	13
Figure 6: Galle sur racines de pomme de terre causées par les nématodes	17
Figure 7: Galle sur pomme de terre	18
Figure 8 : Pourriture du tissu interne de la pomme de terre causée par le nématode.....	19
Figure 9: Concept d'écosystème-agro système	20
Figure 10: La géographie d'ITMAS	22
Figure 11 : Un assortiment d'outils pour l'échantillonnage de la méso faune.	24
Figure 12 : Schémas d'échantillonnage de la méso faune.....	25
Figure 13 : Etapes de prélèvement de la méso faune avec le quadrat.	29
Figure 14 : Etapes de tri et dénombrement de la méso faune	32
Figure 15 : Répartition de l'humidité dans les sols et les niveaux	36
Figure 16: Variation de l'abondance des groupes de la méso faune durant la saison hivernal.....	38

Figure 17: Abondance des Nématodes durant la saison estivale	40
Figure 18: Effet saison sur les abondances des Nématodes	41
Figure 19 : Matrice montrant la relation entre le sol et la mésofaune.....	47
Figure 20 : Projection des différentes variables et individus sur le plan factoriel.....	47
Figure 21 : Groupe de Collemboles (Gx40)	49
Figure 22 : Collembole (Gx100)	49
Figure 23 : Colonie de Nématodes (Gx40)	50
Figure 24 : Nématode (Gx40)	50

Liste des abréviations

A % : Pourcentage d'Argile

CaCO₃ : Carbonate de calcium (Calcaire)

CEC : Capacité d'échange cationique

Corg % : Carbone Organique

E : Eté

Fig : Figure

H : Hiver

N : Niveau

Nbre : nombre

Nt % : Azote total

pH eau : Potentiel hydrogène

P : Points

Tabl : Tableau

Facteur sol : Facteur point

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Le sol.....	3
II. La composante biologique du sol	3
II.1. Les micro-organismes du sol.	4
III. La faune du sol	4
III. 1. La microfaune.....	5
III. 2. La méso faune.....	6
III. 3. La macrofaune.....	6
III. 4. La mégafaune.....	6
IV. La méso faune.....	6
IV.1. Les Nématodes (Némathelminthes).....	7
IV. 2. Les Arachnides.....	7
IV. 3. Les Acariens.....	8
IV. 4. Les collemboles.....	8
V. Impact de la méso faune sur les agro systèmes	9
V. 1. Rôle biologique des nématodes.....	9
VI. Les nématodes.....	10
VI.1. Apparence ,structure et cycle biologique.....	10
VI.2. Les types de nématodes.	11
VI.2.1 Endoparasites migrants.	11
VI.2.2 Endoparasites sédentaires.	11
VI.2.3 Ectoparasites..	11
VI.3. Symptômes d'attaques des nématodes....	14

VI.3.1. Symptômes sur les parties aériennes.....	14
VI.3.2. Symptômes causés par les nématodes des parties aériennes.....	14
VI.3.3. Symptômes causés par les nématodes des racines.....	15
VI.3.4. Symptômes sur parties souterraines.....	15
VII. L'Agro-écosystème.....	20
VII.1. Le concept d'écosystème – agro système.....	20
VIII. Pomme de terre et son importance	21

Chapitre II: Etude du milieu

I. Situation géographique	22
II. Synthèse climatique.....	23

Chapitre III: Matériels et méthodes

I. Echantillonnage.....	24
I.1. Les prélèvements.....	24
I.2. Schémas d'échantillonnage	25
I.3. Type d'échantillonnage :	26
I.4. Période d'échantillonnage	26
I.5 . Collecte des échantillons de sol	26
II. Extraction de la méso faune.....	30
II. 1. Extraction par la méthode qui a le même principe que la méthode de Baermann.....	30
II.2. Comptage des nématodes	32
II.3. Fixation de la méso faune	32
III. Types des analyses statistiques	33

Chapitre IV: Résultats et discussions

I. Résultats des analyses du sol	34
I.1. Humidité du sol	34
II. Abondance de la méso faune	36
II.1. Abondance de la méso faune durant la saison hivernale	36
III. Abondance des Nématodes durant la saison estivale	39
IV. Effet saison sur l'abondance des nématodes	40
V. Analyses de la variances.....	42
V.1. Facteur sol pour la saison hivernale.....	42
V.2. Facteur niveau pour la saison hivernale.....	44
V.3. Facteur sol pour la saison estivale	45
V.4. Facteur niveau pour la saison estivale	45
V.5. Effet saison sur l'abondance pour les sols.....	46
V.6. Analyse en composante principale	47
Conclusion.....	50

Bibliographie

Introduction

La pomme de terre est l'une des plantes les plus cultivées, elle est la quatrième production mondiale après le blé, le riz et le maïs. En Algérie, trois types de culture existent qui sont la saison, l'arrière saison et la primeur cumulant une surface importante avec un rendement moyen de 30 tonnes / ha (Amrar, 2014). Elle est cultivée sur un sol qui constitue un milieu particulièrement favorable à la vie, permettant le développement d'une grande diversité d'organismes. Dans les écosystèmes ou agro écosystèmes cultivés, ces organismes vivants jouent un rôle majeur dans le maintien de la fertilité des sols (Nadama, 2006).

Les invertébrés du sol présentent une diversité taxonomique importante (Pelosi, 2008). Ils comprennent des organismes de petite taille qui vivent dans les films d'eau autour des particules du sol (Parisi et al., 2005), des organismes de taille intermédiaire qui vivent dans la porosité existante et des organismes de grande taille comme les vers de terre et certaines larves d'insectes qui créent leur propre porosité en se déplaçant dans les sols (Aubert et al., 2005). Ce sont des indicateurs de la qualité des sols et doivent être considérés comme une ressource permettant d'améliorer les agro écosystèmes (Pelosi, 2008 ; Blake et al., 2011).

Les sols constituent donc des écosystèmes à part entière à la base de la production végétale et la qualité agronomique des sols qui reposent à la fois sur des composantes physiques, chimiques mais aussi biologiques. Les systèmes de production agricole doivent donc tenir compte de ces composantes biologiques par des pratiques culturelles adaptées. Malgré cette importance écologique, ceux-ci restent très mal connus (Maron-Rios et al., 2010).

Parmi cette biodiversité, il existe des animaux vermiformes connus sous l'appellation des nématodes, le plus souvent microscopique, on les trouve pratiquement dans tous les milieux, à la fois sous forme de parasites ou d'organismes libres. Ils sont des phytoparasites généralement très petits, difficiles ou impossibles à observer au champ. Cependant, leurs symptômes sont non spécifiques. Leurs dommages sur les cultures de pomme de terre sont d'une grande importance ; capables de réduire la production végétale avec une perte de récolte de plusieurs millions de tonnes chaque année (Coyne et al., 2010) .

La nécessité d'études sur le terrain de l'influence des pratiques agricoles sur ces organismes vivants du sol a été souligné à plusieurs reprises (Bedano et al., 2006), afin de

mieux comprendre leur évolution dans un sol cultivé (Pelosi, 2008). Ainsi une investigation drastique des ennemis de cette culture est indispensable pour en garantir une gestion intégrée, tout en produisant des tubercules de qualité avec un rendement acceptable. Par ailleurs, des insectes bénéfiques sont également dans ces sols et participent à réduire les insectes ravageurs, d'où l'importance de discriminer ces différents groupes (Jean, 2002).

Le travail fait l'objet d'une présentation des variations qualitatives et quantitatives des communautés de la méso faune des sols en liaison avec les caractéristiques physiques et biochimiques des sols étudiés, sous une culture de pomme de terre. Le but est d'étudier l'abondance de la méso faune et l'évaluation de la fertilité de ces sols, à travers des résultats obtenus pour deux saisons différentes (hivernale et estivale). Pour ce faire, après une synthèse bibliographique et une étude du milieu, nous présentons le matériel et méthodes utilisés suivis d'une discussion des résultats. Une conclusion pour clore cette étude.

I. Le sol

Le sol est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche –mère sous jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques. Définit aussi comme la partie superficielle de l'écorce terrestre fortement soumise à l'action des agents climatiques et colonisée par les êtres vivants. Ceux-ci, conjointement et lentement, la transforment par un ensemble de processus ou interagissent des phénomènes physiques, chimiques et biologiques. Par sa composition très particulière, le sol est composé de trois fractions, la fraction solide (constituants minéraux et organiques), la fraction liquide (solution du sol) et la fraction gazeuse ou atmosphère du sol (oxygène, azote et gaz carbonique) (Soltner, 1987 ; Beauchamp, 2003).

Le sol joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. C'est une ressource importante qu'il convient de protéger compte tenu de l'accélération de sa dégradation liée, souvent, aux activités humaines. Le bio fonctionnement des sols regroupe un ensemble de fonctions assurées par les organismes vivants dans ce sol et qui sont en interaction avec les composantes physiques et chimiques de celui-ci, permettant la dynamique de la matière organique et de l'eau, ainsi que le recyclage des nutriments (Antunes et al., 2008 ; Boudiaf Nait Kaci et al., 2014).

II. La composante biologique du sol

On rencontre dans les sols tous les niveaux de la chaîne alimentaire, à l'exception des organismes photosynthétiques, limités à la surface du sol. Les décomposeurs y sont par contre très abondants ; ils transforment la matière organique et la minéralisent. Cette diversité de niveaux trophiques peut se rencontrer au sein d'un même groupe taxonomique : on trouve par exemple des nématodes fongivores, bactérivores, herbivores ou prédateurs qui se distinguent par la forme des pièces buccales. Dans les milieux méditerranéens, les conditions climatiques et pédologiques agissent fortement sur la réduction de la dynamique de la succession des communautés (Véla et Benhouhou, 2007). Les politiques mises en œuvre et adoptées ont conduit à une dégradation des agro écosystèmes pour lesquels actuellement on tente de restaurer les fonctions (Boudiaf Nait Kaci et *al.*, 2014).

II.1. Les micro-organismes du sol

Les parties du sol influencées par la présence des racines « *la rhizosphère* » ou par le creusement des vers de terre « la drilosphère ». Les exsudats racinaires, dans la rhizosphère, et le mucus intestinal des vers, dans la drilosphère, ont un effet favorable sur l'abondance et la richesse des communautés de bactéries, de champignons, de protistes ou de microarthropodes dans ces compartiments privilégiés (Davet, 1996). On ne peut dire que leur rôle soit plus important que celui d'animaux du sol : leurs actions s'ajoutent. Mais celle des micro-organismes se situe plutôt en bout de chaîne, après la fragmentation entreprise par les animaux. Ce seront les agents directs de la minéralisation et de l'humification (Soltner, 1987 ; Duchauffour, 1977).

III. La faune du sol

De manière globale la faune du sol peut être classée en quatre catégories (Fig.1), selon la taille des organismes qui la composent (Gobât et *al.*, 1998)

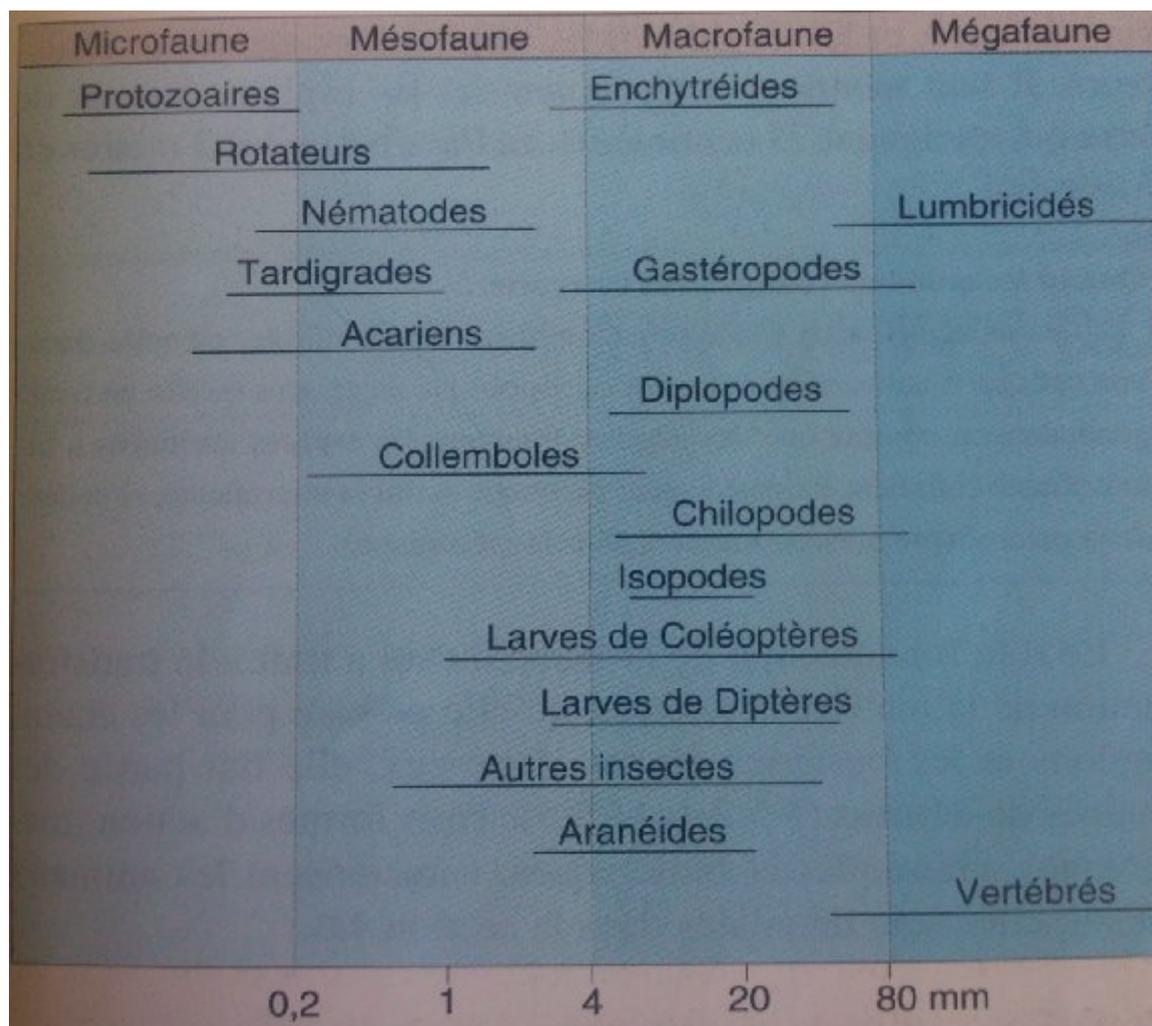


Figure 1 : Classification des invertébrés du sol selon leurs taille (Gobât et *al.*, 1998).

III. 1. La microfaune

Elle a une longueur entre ($< 0,2$ mm), regroupe principalement des microorganismes ayant besoin d'eau liquide pour vivre. On trouve des protozoaires grands consommateurs de bactéries, ils induisent le maintien de la jeunesse des populations de bactéries, celle-ci devant se reproduire pour pallier à cette prédation. On peut aussi observer des Métazoaires, essentiellement des Nématodes (Vers ne présentant pas de segmentation), qui interviennent dans la première phase de décomposition des végétaux en les brisants, ce qui facilite ensuite l'action des bactéries et des champignons. Ils participent aussi au brassage des horizons, activant la remontée des éléments minéraux vers la surface (Gobât et *al.*, 1998 ; Martins et *al.*, 2015)

III. 2. La méso faune

Cette catégorie d'invertébrés comprend la majorité des Nématodes, les Acariens, les Collemboles, et des Protoures, dont la longueur varie entre 0,2 et 4mm avec un diamètre de 0,1 à 2mm. Les jeunes larves de macro arthropodes entrent généralement dans cette catégorie (Nadama,2006).

III. 3. La macrofaune

On la repère sans difficulté à l'œil nu d'autant plus que de par sa taille qui varie (4 à 80mm) elle occupe surtout les couches superficielles, regroupe les vers de terre, certains mollusques, arachnides, crustacés et myriapodes, les vers de terre ou lombrics ont un rôle primordial dans le brassage des différents horizons, ils ingèrent de la terre qu'ils rejettent ailleurs apportant des éléments organiques vers le bas. Leur activité permet aussi d'améliorer l'aération et la perméabilité des sols. Enfin leur biomasse importante constitue une réserve d'Azote pour le sol (Nadama,2006 ; Machado et *al.*, 2009).

III. 4. La mégafaune

Cette classe représente les vertèbres qui ont une taille dépassant 80 mm de longueur. Ils agissent sur le sol par creusement de leurs galeries, reptiles, mammifères fouisseurs tels que les campagnols, les chiens de prairie, les marmottes, aussi les amphibiens semblables à des vers de terre, et des reptiles apodes et fouisseurs (Gobât et *al.*, 1998 ; Peres, 2003).

IV. La méso faune

C'est une classification morpho-métrique qui distingue les individus appartenant à la faune du sol selon leur taille et leur relation vis-à-vis de l'eau. Cependant, il existe d'autres classifications des invertébrés selon leur durée de vie dans un sol et une autre selon leurs préférences alimentaires. La plus utilisée et fiable est la taxonomie qui identifie avec un maximum d'exactitude morphologique. Ainsi la méso faune fait partie de la faune du sol, celle-ci joue un rôle intermédiaire entre la macrofaune et la microfaune, le plus souvent composée de trois espèces qui jouent un rôle

important dans le bio fonctionnement des agro systèmes, composée des nématodes, acariens et collemboles (Pelosi, 2008).

IV.1. Les Nématodes (Némathelminthes)

Ils vivent dans des eaux pelliculaire et interstitielle en zone d'enracinement et matière en décomposition, leur taille varie de 0.2 à 4 mm (Fig. 2), avec une abondance de 100 à 1000 ind/g de terre, se sont des phytophages et carnivores. Ils peuvent être des ravageurs ou des auxiliaires (Pelosi, 2008).



Figure 2: Morphologie d'un nématode (Pelosi, 2008).

IV. 2. Les Arachnides

Ce groupe d'invertébrés appartient à l'embranchement des arthropodes et au sous-embranchement des Chélicérates. La classe des arachnides comporte 11 ordres dont 5 seulement sont présents en zone tempérée : Acariens, Aranéides, Opilions, Pseudo-Scorpions et Scorpions. Les acariens ont un rôle important sur le fonctionnement du sol. Les Aranéides et les Opilions évoluent en surface du sol, ce sont des prédateurs généralistes, efficaces contre les ravageurs des cultures (Pérès et *al.*, 2010).

IV. 3. Les Acariens

Les acariens sont les Arachnides les plus représentés dans le sol. Le groupe est extrêmement diversifié, aussi bien en ce qui concerne la morphologie que la biologie ou les régimes alimentaires de ses représentants. Ils occupent principalement les premiers centimètres des sols, mais des espèces ont été déjà signalées dans horizons profonds bien structurés (Linder et Hohn, 2011).



Figure 3: Morphologie des acariens (Pérès et al., 2010).

Les acariens présentent des adaptations morphologiques à l'absence de lumière et à la faible porosité, ces acclimations sont représentés par une dépigmentation, ils portent moins de soies, leurs appendices sont plus courts, leur taille est réduite. On rencontre deux ordres principaux dans le sol. Les Oribates, essentiellement saprophages, participent très activement à la dernière étape de fragmentation de la matière organique. Les Gamasides sont surtout des carnivores, prédateurs d'autres microarthropodes et de petits vers. Cependant, l'intérêt agronomique de ces invertébrés est la microfragmentation et le brassage des matières organiques, la dispersion et la régulation de la microflore, en plus de la régulation des populations de la microfaune et la méso faune (Bachelier, 1979 ; Pérès et al., 2010).

IV. 4. Les collemboles

Les collemboles sont répartis dans tout le sol et présentent des adaptations morphologiques à la profondeur. Ils possèdent plusieurs organes spécifiques dont le plus visible est la *furca*, une sorte de

levier post-abdominal permettant le saut. La *furca* est très réduite, voire absente, chez les espèces les plus caractéristiques des sols profonds.



Figure 4: La morphologie des collemboles (Larochelle, 2004).

La plupart des espèces se nourrissent de microorganismes, stimulant ainsi la croissance des champignons dans le sol et régulant la microflore. Ils contribuent également à la fragmentation de la matière organique. Ils se nourrissent de microorganismes en stimulant ainsi la croissance des champignons avec une régulation de toute la microflore du sol. Leur abondance peut atteindre 200 000 ind/m² en milieu humide (Jansens et Dethier, 2005). Cependant, ils interviennent dans la fragmentation et le brassage des matières organiques mais peuvent devenir nuisibles (Moor et al., 2002).

V. Impact de la méso faune sur les agro systèmes

V. 1. Rôle biologique des nématodes

Les nématodes représentent l'un des taxons les plus abondants parmi les invertébrés du sol (plusieurs dizaines de millions d'individus par mètre carré). Ce sont des bio-indicateurs de choix pour le suivi de la qualité biologique des sols (Pelosi, 2008). Ils ont un impact significatif sur les processus du sol, notamment par l'influence qu'ils ont sur la biomasse et sur les populations microbiennes. Les

nématodes jouent également un rôle biologique essentiel dans la minéralisation. Ils produisent du mucus, substrat organique très énergétique qu'ils mélangent dans leurs tubes digestifs avec du sol ingéré et de l'eau. Le sol ingéré contient des particules minérales et organiques, mais aussi de la microflore. Les conditions sont alors idéales pour les bactéries (chaleur, humidité et matière organique fragmentée) qui récupèrent leurs capacités enzymatiques et digèrent la matière organique. La production de mucus demande un gros investissement énergétique, qui leur permet de récupérer les produits de la digestion effectuée par les bactéries réactivées.

Le système de digestion extrêmement performant de ces animaux leur permet, en fin de compte, de déployer l'énergie nécessaire au creusement de leurs galeries ou à la construction de leurs édifices. Les micros prédateurs qui consomment la microflore ont un rôle de régulation des populations, mais aussi de stimulation. En effet, sous l'influence de cette prédation, la multiplication des bactéries et autres éléments de la microflore augmente (Nadama, 2006).

VI. Les nématodes

Le sol constitue un milieu particulièrement favorable à la vie, permettant le développement d'une grande diversité de nématodes. Dans les écosystèmes cultivés, les nématodes jouent un rôle très important dans le maintien de la fertilité des sols. Cependant, leurs rôles dépendent aussi de leurs structures, leurs stades de développement et aux types d'espèces à la qu'elle ils appartiennent (Laroche, 2004).

VI.1. Apparence ,structure et cycle biologique

Les nématodes phytoparasites sont le plus souvent des vers ronds en forme d'aiguille de taille variant de 0,25 à plus de 1 mm, certains atteignant 4 mm. Bien que généralement de forme effilée de la tête et à la queue, ils existent avec une très grande variabilité de formes et de tailles. Chez quelques espèces, les femelles perdent leur forme effilée au fur et à mesure de leur croissance, jusqu'à devenir des femelles adultes élargies, en forme de poire, de citron, de rein ou sphériques. Comme les autres animaux, les nématodes possèdent des systèmes circulatoire, respiratoire et digestif. Les nématodes phytoparasites diffèrent des autres nématodes qui s'alimentent sur des bactéries et des champignons par la présence d'une structure spécialisée : le stylet. Ce stylet est utilisé à la fois pour injecter des enzymes dans les cellules et les tissus végétaux des plantes et pour en extraire le contenu, d'une manière très semblable aux aphidés (pucerons) sur les plantes (Auclerc, 2012) . Leurs cycle de

développement est typiquement divisé en 6 : le stade œuf, 4 stades juvéniles et le stade adulte. La durée de chacun de ces stades et du cycle biologique complet diffère selon les espèces et dépend de facteurs comme la température, la teneur en eau et la plante hôte. En conditions favorables sous les tropiques, de nombreuses espèces ont des cycles de développement très courts avec plusieurs générations par saison. Cela peut conduire à des développements très rapides de populations à partir de seulement une (auto-fertilisation) ou deux individus, par ailleurs, les nématodes peuvent survivre à des conditions défavorables comme la saison sèche ou les hivers froids. Certaines espèces survivent mieux à différents stades, par exemple les espèces du genre *Heterodera* survivent mieux sous formes d'œufs à l'intérieur de kystes, le genre *Ditylenchus* au quatrième stade juvénile et le genre *Anguina* au second stade juvénile (Coyne et al., 2010).

VI.2. Les types de nématodes

Les nématodes phytoparasites peuvent être séparés en deux groupes, les nématodes des parties aériennes – ceux qui s'alimentent sur les parties aériennes des plantes – et les nématodes des parties racinaires – ceux qui s'alimentent sur les racines et tubercules souterrains.

Ils peuvent également être regroupés selon leur comportement alimentaire et leur mobilité en trois groupes principaux:

VI.2.1 Endoparasites migrants

Se sont des nématodes mobiles qui s'alimentent à l'intérieur des tissus racinaires des plantes.

VI.2.2 Endoparasites sédentaires

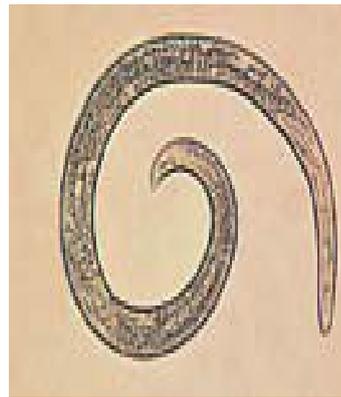
Décrit comme nématodes qui, arrivés sur un site nourricier, cessent d'être mobiles et s'alimentent sur ce site nourricier.

VI.2.3 Ectoparasites

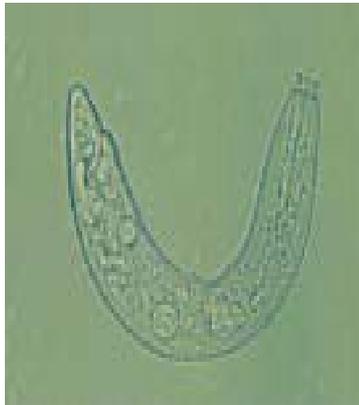
Définit comme des nématodes qui s'alimentent à la surface des tissus racinaires des plantes (Coyne et al., 2010).



a : filiforme (*Pratylenchus*)



b: filiforme/épaissi (*Helicotylenchus*)



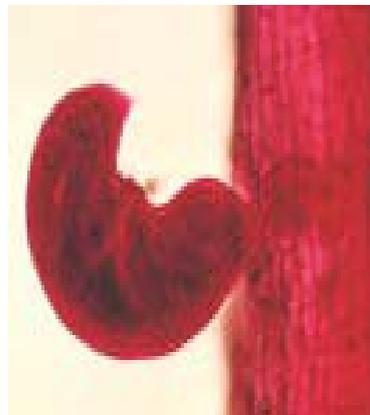
c : fuseau épaissi
(*Discocriconemella*)



d : fuseau/arrondie (*Nacobbus*)



e : forme de poire (*Tylenchulus*).



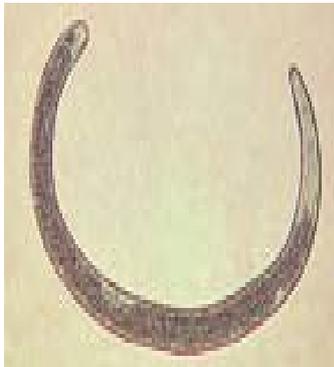
f : réniforme (*Rotylenchulus*).



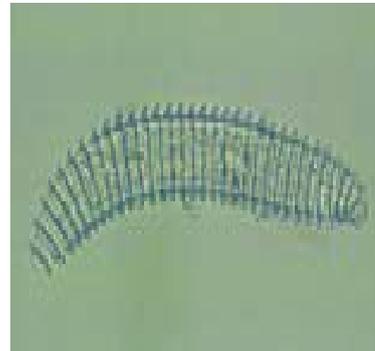
g : forme de citron (*Heterodera*)



h: gourde sphérique(*Meloidogyne*)



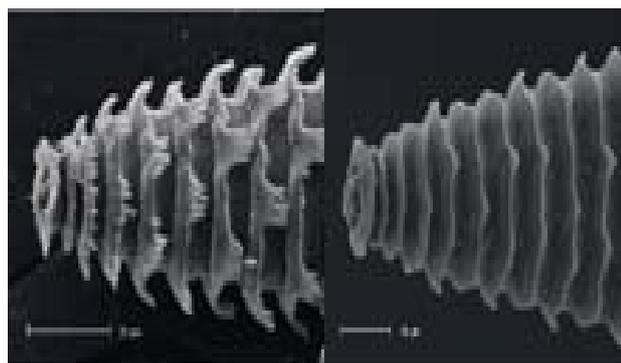
i: filiforme/forme-C (*Scutellonema*)



j : Nématode annelé (*Criconematid*)



k : filiforme/long
(*Hirschmanniella*).



l: *Ogma* structure de surface (frangé/ornementé)

Figure 5 : Diverses formes de nématodes, comme observées à travers le microscope (Coyne et *al.*, 2010).

VI.3. Symptômes d'attaques des nématodes

Le plus grand défi lorsqu'il s'agit de reconnaître les nématodes comme responsables des dommages observés sur une culture tient au fait que la plupart d'entre eux ne produisent pas de symptômes spécifiques, faciles à identifier. En effet, les attaques de nématodes sont le plus souvent non spécifiques et facilement confondues avec des symptômes d'origine abiotique ou biotique. Par exemple, les symptômes de chlorose peuvent être dus à une déficience en azote mais aussi à la présence de nématodes, de la même manière une faible croissance peut être causée par un manque de fertilité du sol ou de stress hydrique mais également par la présence de nématodes. Il est fortement recommandé de rechercher la présence de nématodes lorsque les cultures souffrent de pertes de récolte et montrent l'un ou l'autre plusieurs symptômes. Les symptômes d'attaques de nématodes sont observables sur les parties aériennes comme sur les parties souterraines (Institut national de la protection des végétaux, 2001).

VI.3.1. Symptômes sur les parties aériennes

Les symptômes sur les parties aériennes se divisent en deux catégories : ceux qui sont causés par des nématodes des parties aériennes qui attaquent le feuillage et ceux qui sont causés par des nématodes du sol attaquant les racines (Coyne *et al.*, 2010).

VI.3.2. Symptômes causés par les nématodes des parties aériennes

Ce sont souvent des symptômes spécifiques associés à des nématodes plus aisés à diagnostiquer (Pelosi.,2008). Ils comprennent :

- formation de galle, ou gonflement anormal des grains ou des feuilles des stries sur feuille, blanchissement et décoloration des feuilles (particulièrement sous climat tempéré) • épaisissements, crevasses et croissance désorganisée des tissus (e.g. *Ditylenchus*)
- nécrose interne de la tige, association avec un anneau rouge
- nécrose de l'inflorescence
- chlorose/brunissement des feuilles (aiguilles de pins), possible mort de l'arbre .

VI.3.3. Symptômes causés par les nématodes des racines

Les nématodes des racines sont la cause, à des degrés divers, de défauts de croissance des parties aériennes, mais ces symptômes ne sont généralement pas suffisants pour diagnostiquer un problème nématologique. La plupart de ces symptômes peuvent être le reflet ou confondus pour d'autres problèmes comme une alimentation insuffisante en eau ou une déficience de l'absorption minérale. Ils comprennent:

- Chlorose (jaunissement) ou toute autre coloration anormale du feuillage
- Croissance inégale et réduite
- Feuillage fin et peu fourni
- Symptômes liés au stress hydrique comme flétrissement de la plante ou enroulement des feuilles
- Mort de plantes pérennes ou ligneuses avec peu ou pas de nouvelles feuilles
- Réduction de la taille des fruits et des graines
- Faiblesse des récoltes.

D'autres symptômes peuvent suggérer une infestation par les nématodes:

- Mauvaise réponse à l'application des engrais
- Une tendance à réagir plus rapidement au stress hydrique que des plantes saines, des difficultés à reprendre après un flétrissement
- Peu ou pas de développement du feuillage au début de la nouvelle saison de croissance
- Problème important d'adventices (fort envahissement), dû à une moindre compétitivité des plantes infestées par les nématodes

Plus grande susceptibilité aux maladies, en raison d'une moindre résistance des plantes infestées par les nématodes (Pelosi, 2008).

VI.3.4. Symptômes sur parties souterraines

Ils sont dus aux nématodes et sont parfois suffisamment spécifiques pour autoriser le diagnostic d'un problème nématologique. L'arrachage des plantes ou le dégagement des racines est nécessaire pour observer les symptômes. Les symptômes comprennent:

- Formation de galles

- Racines raccourcies, épaissies, enflées à leurs extrémités
- Lésions sur les racines
- Nécroses sur les racines et les tubercules, pourrissement et mort des racines
- Crevasses sur racines et tubercules
- Présence de kystes ou de ‘perles’ sur les racines
- Racines déformées
- Architecture racinaire altérée.
- Galles

Les galles racinaires sont la plupart du temps causées par les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.), bien que d’autres nématodes comme *Nacobbus aberrans* puisse aussi former des galles . L’alimentation d’autres nématodes, comme *Xiphinema* spp., peut également conduire à la formation d’épaississements ou de galles moins définies, particulièrement à l’extrémité des racines.

Les galles varient considérablement selon l’espèce de *Meloidogyne*, la culture et le cultivar, et parfois sont observables sur racines et sur tubercules . Les apparences les plus typiques comprennent:

- Petits épaississements bien individualisés en tête d’épingle
- Épaississements massifs de tissus végétaux déformés et coalescents
- Renflement des extrémités racinaires
- Renflements irréguliers tout au long de la racine
- Extrémités racinaires recourbées en forme d’hameçon
- Pas de forme visible d’épaississements racinaires autour du site où le nématode est fixé (Pelosi, 2008).



Figure 6: Galles sur racines de pomme de terre causées par les nématodes
(*Nacobbus aberrans*) (Pelosi, 2008).



Figure 7: Galles sur pomme de terre (Pelosi, 2008).

- Pourriture des racines et tubercules

Les nématodes à eux seuls peuvent conduire à des pourritures de racines et de tubercules à travers des migrations importantes, entraînant des nécroses et la mort de tissus végétaux et de racines. Le nématode du bananier *Radopholus similis*, les nématodes agents de lésions *Pratylenchus* spp., le nématode de l'igname *Scutellonema bradys*, et *Hirschmanniella miticausa* sur le en sont des exemples. Fréquemment, des infestations bactériennes et fongiques se développent secondairement et contribuent au pourrissement (Pelosi, 2008).



Figure 8 : Pourriture du tissu interne de la pomme de terre causée par le nématode (*Ditylenchus destructor*) (Pelosi, 2008).

VII. L'Agro-écosystème

Ils constituent des écosystèmes avec une production agricoles plus ou moins simplifiés et régulés par l'activité humaine, répondant aux principales lois écologiques (Bockstaller et *al.*, 2013) .

VII.1. Le concept d'écosystème – agro système

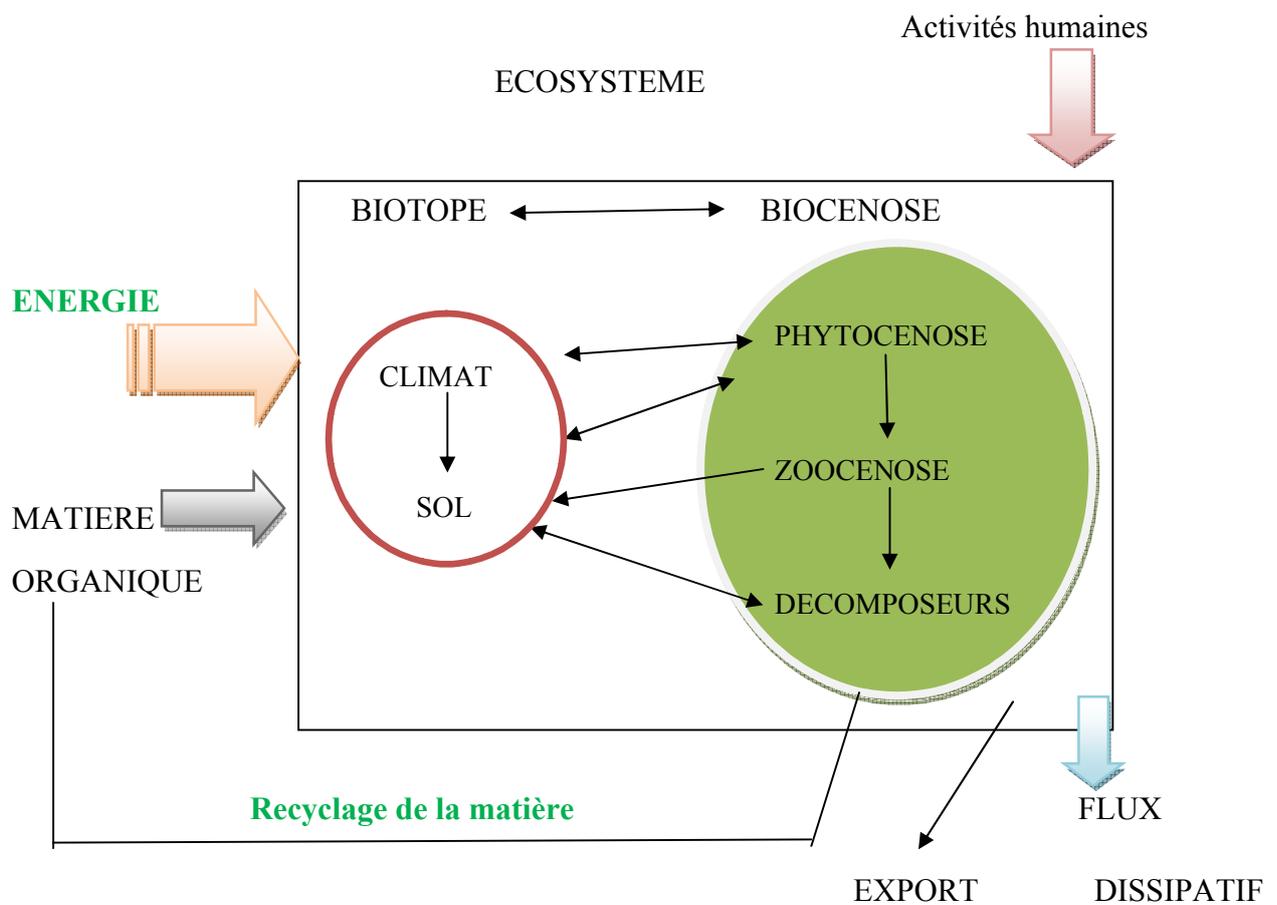


Figure 9: Concept d'écosystème-agro système (Bockstaller et *al.*, 2013) .

VIII. Pomme de terre et son importance

L'importance de cette espèce végétale est telle qu'elle est cultivée dans plus de 100 pays à travers le monde. Elle figure au 4ème rang des principales cultures vivrières après le maïs, le blé et le riz. Elle a permis la survie de la civilisation des Incas et se présente à nous comme l'aliment indispensable de tous les jours. Défini aussi comme « l'aliment refuge » des petites bourses. La pomme de terre est de la famille des solanées des deux sous-espèce : le *Solanum tuberosum* est celle qui est cultivée dans le monde entier (l'andigène l'est dans les Andes) (FILAHANNOVE, 2009).

Ce légume est recherché, se cultive et se développe continuellement en raison :

- De la qualité de son tubercule en tant qu'aliment polyvalent très riche en hydrates de carbone, source d'énergie pour l'homme, riche en vitamines notamment C et porteur d'autres éléments nutritifs comme le phosphore, calcium, fer...
- Il est facile de produire le tubercule, le multiplier, et le conserver aussi bien comme aliment que semence..

La meilleure manière de cultiver la pomme de terre consiste à aménager des billons d'environ 25 cm de haut, elle demande un entretien régulier (sarclage, mesures phytosanitaires, etc.) pour pouvoir développer son plein potentiel de rendement. L'ombrage est également important pour obtenir suffisamment d'amidon. Dû au fait qu'elle est originaire d'une région à climat tempéré, le potentiel de diffusion de la pomme de terre est limité aux régions de haute altitude. Les contraintes majeures à la production sont les maladies, notamment le mildiou (*Phytophthora infestans*) et le flétrissement bactérien (*Pseudomonas solanacearum*), qui demandent certaines précautions culturales et mesures phytosanitaires spéciales. En Afrique, le manque de semences certifiées de variétés bien adaptées aux conditions locales, de même que leur coût, représentent souvent de sérieuses entraves à la production (FILAHANNOVE, 2009).

I. Situation géographique

L'institut de technologie moyen agricole spécialisé (ITMAS), se situe dans la commune de Boukhalfa, située au centre de la wilaya de Tizi-Ouzou (Fig.10). Cette localité est limitée au nord par la forêt de Litima, au nord-ouest la commune de Sidi Naàmane, au nord-est le village de Redjaouna, à l'ouest et au sud-est la ville de Draa Ben Khedda. Au sud Tizi-Ouzou. Au Sud-est : Tala Allam. Et à l'est Sidi Belloua. Les coordonnées Lambert du site d'échantillonnage se trouve entre 44°48. 3"N et à 4°36'40'' E . La surface de l'unité d'échantillonnage est de 49cm³ (Anonyme 1).

Le climat est sub - humide, avec humide période sèche de mai le PTOM de Martonne indice de 19,3 .

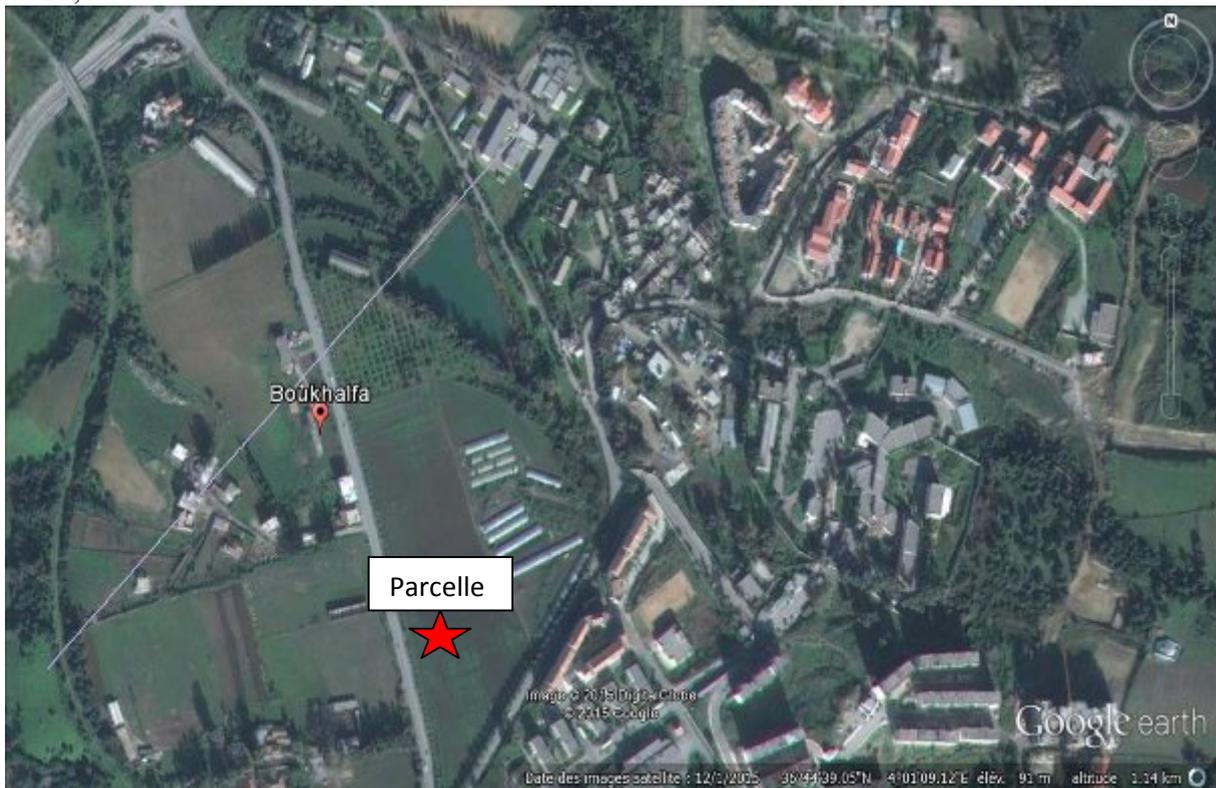


Figure 10: La géographie d'ITMAS (Anonyme 1).

II. Synthèse climatique

Une étude climatique sur une série de dix ans a révélé que la zone d'étude a une pluviométrie annuelle de 826 mm et des températures qui varient entre 5.7 pour ce qui est de la température minimale et une température maximale de 37.7 (°C). Le climat est subhumide, avec une période sèche allant de mai à octobre et un indice de Martonne de 19,3 (Boudiaf Nait Kaci et *al.*, 2014).

Station	Boukhalfa
Coordinats	44'48. 3"N 4°36'40'' E
Altitude (m)	492
Les précipitations annuelles moyennes (mm)*	826
Température moyenne annuelle (° C) *	5.7 - 37.7

Tableau 1 : Les données bioclimatiques d'ITMAS (Boudiaf Nait Kaci et *al.*, 2014)

I. Echantillonnage

Après avoir observé les symptômes d'une possible infestation par les nématodes, l'étape suivante consiste à collecter des échantillons de sol d'un agro système se trouvant à ITMAS, sous une culture de pomme de terre. Dans le cas de cette étude, l'échantillonnage a porté sur deux parcelle de pomme de terre, situées sur des sols contigus. Dans chaque parcelle de 6 hectares. Cinq points sont marqués pour dénombrer la méso faune contenue dans deux niveaux d'un volume de 490 cm³ profondeurs. Sachant que les plantes n'ont subi aucun traitement phytosanitaires, il est aussi important de citer qu'il a eu un important travail qui concerne le labour du sol mais aussi que celui-ci est compac .

I.1. Les prélèvements

Le prélèvement des invertébrés de la méso faune et des sols, est effectué selon le principe de la méthode de Coineau, (1974). Nous avons modifié le volume du quadrat compte tenue de l'abondance et de la taille du groupe d'invertébrés à considérer. Les outils et accessoires utilisés sont montrés dans la figure (11).

Le quadrat utilisé pour mes prélèvements des sols doit avoir une profondeur de 0–20 cm une longueur et une largeur de 7 cm, forme cylindrique.



Figure 11 : Un assortiment d'outils pour l'échantillonnage de la méso faune.

I.2. Schémas d'échantillonnage

La méso faune est rarement distribué de manière régulière dans une parcelle d'un agro système, en conséquence l'échantillonnage doit s'effectuer en plusieurs parties de la parcelle. Il peut être intéressant, à titre de comparaison de collecter séparément des échantillons dans les zones de bonne et de mauvaise croissances. Maintenir une procédure d'échantillonnage constante en termes de collecte et de couverture au cours d'une enquête faunistique.

Les schémas d'échantillonnage peuvent être aléatoires ou systématiques (**Fig.12**). L'échantillonnage aléatoires ne prend pas en compte la nature agrégée de la distribution de la méso faune et n'est seulement représentatif que pour des petites surfaces. L'échantillonnage systématique est une voie plus structurée dans la collecte des échantillons qui prend en compte la parcelle dans sa globalité et la distribution agrégée de la méso faune.

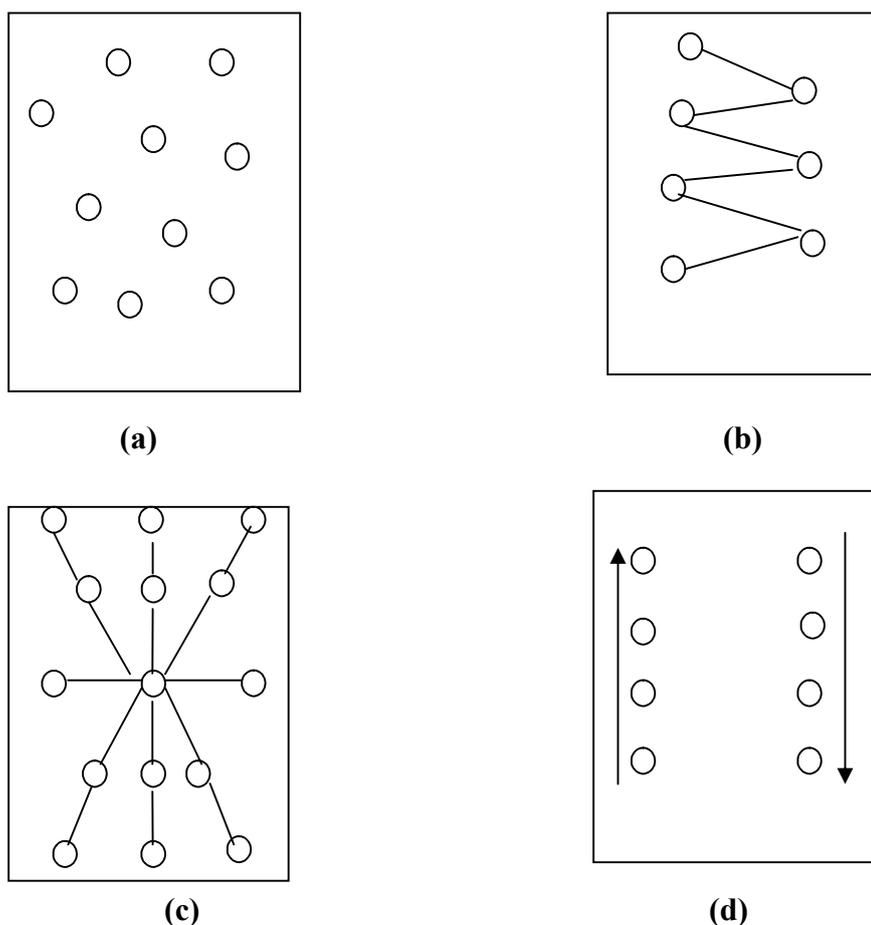


Figure 12 : Schémas d'échantillonnage de la méso faune

(a-c) Echantillonnage aléatoire ; (b-d) Echantillonnage systématique.

I.3. Type d'échantillonnage :

Pour l'extraction de la méso faune du sol, on a utilisé l'échantillonnage de type (b) qui celui-ci est systématique appelé aussi échantillonnage en zigzag.

I.4. Période d'échantillonnage

La période optimale d'échantillonnage varie selon les plantes cultivées et en fonction des stades de développement de la plante et des objectifs de l'échantillonnage, il est important de savoir que La répartition et l'abondance de la méso faune du sol dans un agro système est sous l'influence de plusieurs facteurs écologiques. Pour un dénombrement et une identification des invertébrés du sol, nous avons choisi la période hivernale à savoir Février 2015 et le période estivale en Juin 2015.

I.5 . Collecte des échantillons de sol



A : Prendre soin d'échantillonner entre les rangs



B : Insérer le quadrat dans le sol selon les deux niveaux (N1-N2)



C : Retirer le quadrat, L'échantillon Doit représenter deux niveaux de la surface du sol
niveau de la surface du sol (0-10) jusqu'à (10-20) cm récupérer tout le contenu du quadrat
en dessous.



D : Avec un instrument adapté et rigide, récupérer le contenu du quadrat sur la bâche en plastique



E. Prendre soin d'éliminer tout les résidus de sol adhérents au quadrat avant de prendre un autre échantillon.

F. Placer les échantillons dans des sachets en plastiques épais bien fermer .étiqueter et mentionner les niveaux (N1-N2) avec un marquer permanent.

La méso faune et les nématodes sont très fragiles et périssables, et il est important de leur apporter les soins appropriés pour les conserver dans de bonnes conditions. Les échantillons ne doivent pas rester exposés au soleil directement ou dans un véhicule fermé au soleil.ils ne doivent pas attendre trop longtemps avant d'être traiter au laboratoire.



G :Après échantillonnage, les échantillons devraient être placés dans une glacière ou un réfrigérateur (un conteneur thermorésistant)

Figure 13 : Etapes de prélèvement de la méso faune avec le quadrat.

Une fois arriver au laboratoire, prendre le soin de peser les échantillons afin de pouvoir noter le poids frais, puis après séchage a l'étuve, prendre le poids sec des échantillons pour calculer l'humidité.

II. Extraction de la méso faune

Cette étape consiste à extraire la méso faune des échantillons. Cette extraction doit être réalisée le plus vite possible après la collecte des échantillons pour éviter leur détérioration dans le temps.

Le nombre de techniques utilisées :

- Extraction par une méthode qui a le même principe que la méthode de Baermann (**Fig . 14**).

II. 1. Extraction par la méthode qui a le même principe que la méthode de Baermann.

- Dans cette méthode avoir un équipement spécialisé n'est pas nécessaire, car c'est une méthode facile à adapter en fonctions des circonstances et des matériels, grâce a cette méthode on peut extraire un grand nombre de méso faune mobiles et enfin c'est une Technique simple.



A : Dispositif de récolte de La méso faune



B : Plusieurs dispositifs de récolte de la méso faune

C : Boite de pétri contenant de la méso faune

D : Microscope photonique

Figure 14 : Etapes de tri et dénombrement de la méso faune

Pour la détermination des différents ordres ou groupes de la faune, nous avons pris comme référence plusieurs ouvrages qui utilisent quelques clés de détermination en se basant sur les caractères morphologiques du corps (Chinery, 1987 ; Paulian, 1990 ; Albony et Caussanel, 1990 et du Chatenet, 2005).

II.2. Comptage des nématodes

Les nématodes extraits peuvent être observés et dénombrés à l'aide d'une loupe binoculaire ou d'un microscope, l'accès aux deux serait idéal. Une bonne qualité d'éclairage par le fond (diascopie) est essentielle. Un grossissement de 40x est recommandé, un microscope peut également être utilisé, ce qui peut s'avérer utile lorsque les nématodes sont en mauvais état ou difficiles à identifier. Les loupes binoculaires permettent une meilleure manœuvrabilité et mise au point, particulièrement lorsque les échantillons sont sales. Les nématodes qui ne peuvent pas être identifiés dans une boîte en plastique transparente au fond de laquelle est gravée une grille, doivent être pêchés à la main et montés sur une lame de verre pour une identification à un plus fort grossissement sous le microscope.

II.3. Fixation de la méso faune

Après observation au microscope, et à l'aide d'une pince fine nous avons enlevé les espèces observés telles que les collemboles et les nématodes, puis nous les avons fixés entre lame et lamelle grâce à la gélatine afin de les conserver et pouvoir prendre des photos par la suite.

III. Types des analyses statistiques

Pour mieux interpréter et comprendre les résultats obtenus, nous avons utilisé deux analyses statistiques. Une analyse de la variance à deux facteurs (point, niveau) pour chaque groupe représentant la méso faune durant deux saisons (hivernale / estivale) pour déterminer la variabilité de ces groupes en suivant les différents niveaux du sol et entre différents points selon les deux saison en utilisant le logiciel Anova et statbox.

Une analyse en composante principales (ACP) réalisée avec le même logiciel pour mettre en relief les corrélations qui existent entre les différentes variable. Cette méthode nous permet d'une façon synthétique de mettre en évidence les interactions entre les facteurs édaphiques étudiés (le PH, carbone organique, le calcaire et le phosphore), et l'abondance des groupes fauniques représentant la méso faune selon les points et les niveaux et cela pendant la saison hivernale et estivale. Elle donne une description des unités statistiques et des variables observées fondée sur l'étude des coefficients de corrélations qui nous permet de déterminer l'abondance de chaque groupe et de déterminer le degré de signification des différences observées entre les traitements.

Ces significations sont étudiées comme suit :

- si la probabilité > 0.05 la différence est non significative.
- si la probabilité < 0.05 la différence est significative.
- si la probabilité < 0.01 la différence est hautement significative.
- si la probabilité < 0.001 la différence est très hautement significative.

I. Résultats des analyses du sol

Les caractéristiques physiques, chimiques et biochimiques interviennent significativement dans la distribution et l'abondance de diverse espèce faunistique. La communauté des invertébrés est influencée par les conditions environnementales, tels que les facteurs liés à la texture du sol, le degré d'acidité, la teneur en matière organique, le taux de calcaire, l'humidité, la porosité et l'intensité de la pratique agricole. Les organismes réagissent de différentes manières et montrent une sensibilité et un comportement spécifique pour chaque espèce vis-à-vis des variations de ces facteurs.

I.1. Humidité du sol

L'humidité du sol a une influence sur la conductivité et la capacité thermique cependant cette caractéristique physique varie en fonction de la profondeur et du temps (Gobat et *al.*, 1998). Pour la méso faune et comme pour toute la faune du sol, l'eau est un facteur essentiel, l'excès comme l'insuffisance lui est néfaste. De plus la mesure de l'humidité du sol est importante pour la détermination du potentiel de production de notre culture (Tableau 2).

Le pourcentage de l'humidité déterminé au laboratoire est assez important, toutefois les différences entre le niveau 1 et 2 sont à signaler. Les niveaux N2 sont plus humides que les niveaux N1 (Fig. 15), cette humidité joue un rôle important dans le maintien de la vie sous terre, sa première utilisation est de permettre la croissance de tout organisme vivant. Quand ces conditions sont favorables les invertébrés du sol particulièrement la méso faune se prolifèrent.

Il est connu que la réserve en eau assure la quasi totalité des besoins en eau de la plante. L'eau dissout les éléments nutritifs pour constituer la solution du sol qui est absorbée par les racines. Plus la texture d'un sol est fine, plus sa réserve en eau est élevée. La part de l'eau qui s'infiltré dans le sol est d'autant plus importante que la surface offre plus d'obstacles au ruissellement et que la structure du sol est plus grossière (Boudiaf Nait Kaci et *al.*, 2014).

Tableau 2 : Variation des humidités des sols

Echantillons	Niveaux	Humidité (%)
P1	N1 (0-10)	17
	N2 (10-20)	23
P2	N1 (0-10)	24
	N2 (10-20)	24
P3	N1 (0-10)	23
	N2 (10-20)	23
P4	N1 (0-10)	22
	N2 (10-20)	24
P5	N1 (0-10)	21
	N2 (10-20)	24
P6	N1 (0-10)	22
	N2 (10-20)	25
P7	N1 (0-10)	22
	N2 (10-20)	23
P8	N1 (0-10)	25
	N2 (10-20)	23
P9	N1 (0-10)	24
	N2 (10-20)	23
P10	N1 (0-10)	23
	N2 (10-20)	23

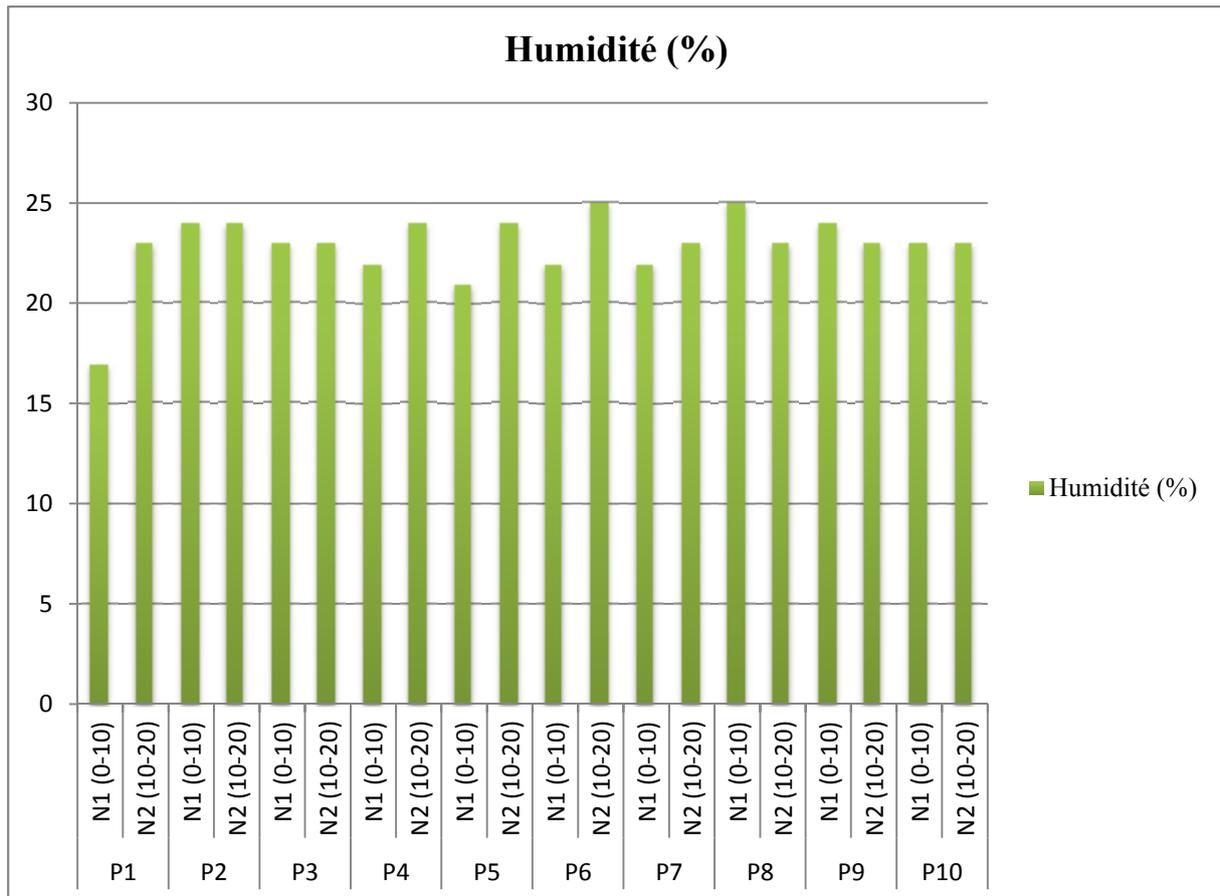


Figure 15 : Répartition de l'humidité dans les sols et les niveaux

II. Abondance de la méso faune

II.1. Abondance de la méso faune durant la saison hivernale

En dépit de l'importance des invertébrés dans la gestion des sols, la vie dans les sols sous de la région de Kabylie est mal documentée particulièrement dans les sols cultivés. Cette étude regroupe les premières données concernant l'abondance des invertébrés de la méso faune du sol sous culture de pomme de terre avec une variation saisonnière.

La figure (16) représente la répartition et l'abondance des collemboles, acariens et les nématodes dans les sols de l'agro système de Boukhalifa. Nous avons remarqué que ces sols abritent plusieurs espèces animales, de très petite taille, cette faune est extrêmement diversifiée, notre étude se limite au dénombrement des collemboles, des acariens et des nématodes qui représentent la méso faune (Tableau 3). Ce choix n'est pas un hasard, il est dû à

un problème signalé par la direction de l'ITMAS. Ces dernières années la culture de pomme de terre était de mauvaise qualité, ce qui pourrait être lié aux attaques de nématodes.

Tableau 3 : Données quantitatives des abondances de la méso faune.

Point	Collemboles	Acariens	Nématodes
P11 H	6	1	19
P12 H	0	3	7
P21 H	0	1	3
P22 H	0	1	2
P31 H	1	1	15
P32 H	0	0	12
P41 H	1	1	14
P42 H	1	0	15
P51 H	25	0	15
P52 H	1	51	15
P61 H	5	10	12
P62 H	0	0	5
P71 H	1	1	15
P72 H	1	0	18
P81 H	14	0	10
P82 H	23	0	20
P91 H	20	0	43
P92 H	0	2	5
P101 H	20	0	5
P102 H	25	1	10

Pendant la période hivernale, la présence des collemboles, acariens et nématodes dans le sol de cet agro système est importante (Figure 16). L'abondance des collemboles est plus élevée que celle des acariens dans les deux niveaux N1-N2. Néanmoins, les nématodes sont de loin plus abondants que les collemboles et les acariens. Ce qui nous permet de conclure que ce groupe est plus résistant aux facteurs abiotiques de la saison hivernale.

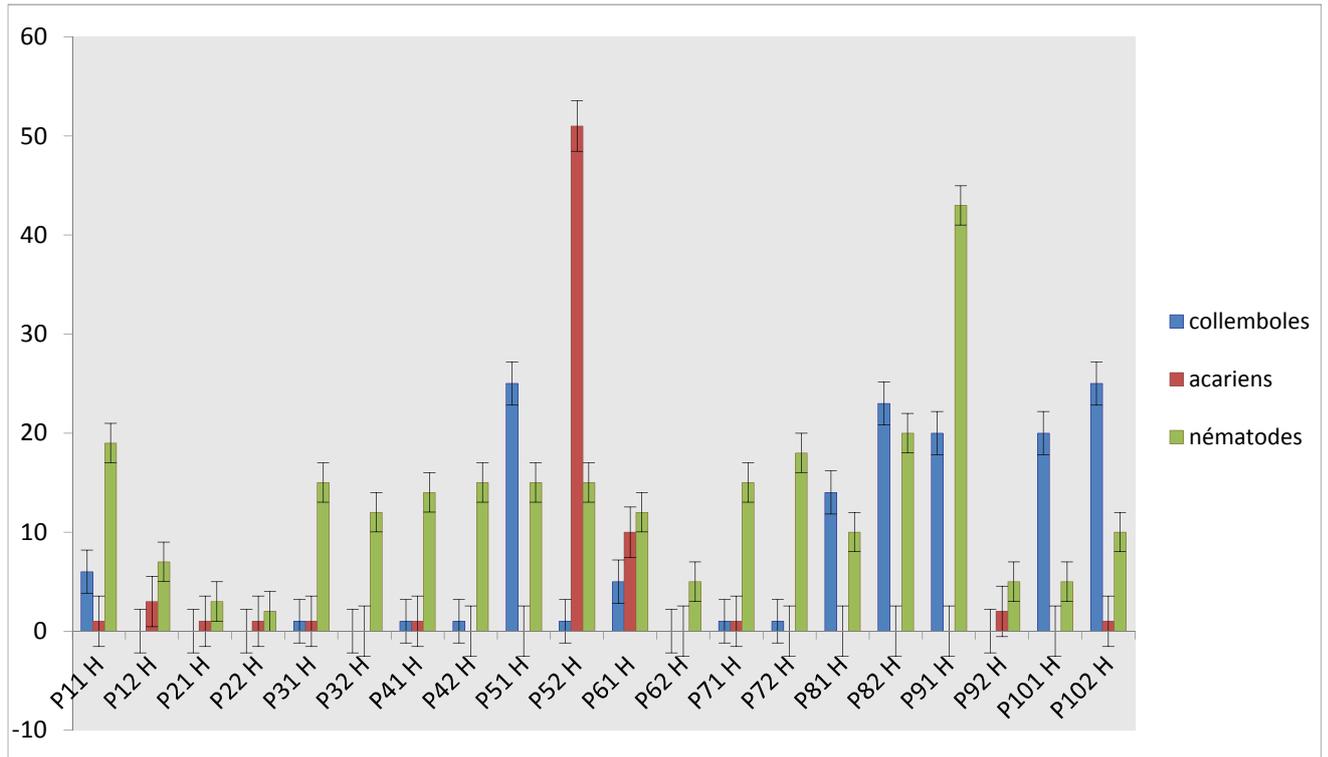


Figure 16: Variation de l'abondance des groupes de la méso faune durant la saison hivernale.

Les questions écologiques peuvent être acquises en examinant des perspectives géographiques et édaphiques. En même temps, il y a un intérêt croissant dans la nature des variables des interactions entre les espèces. La force de ces interactions n'est pas uniforme à travers le temps et l'espace. Plutôt, elles varient en fonction des conditions abiotiques, la densité des populations et d'autres facteurs, qui sont susceptibles de varier selon les latitudes et les altitudes (Boudiaf Nait Kaci, 2014). Ainsi l'abondance des nématodes et la richesse taxonomique au niveau des sols échantillonnés pourrait aussi être dû à la forte érosion de la surface du sol. Aussi, ça pourrait être dû à la composition chimique et aux caractéristiques physiques du sol, sachant que les parcelles de pomme de terre sont irriguées avec les eaux de la retenue collinaire de l'ITMAS. A cela s'ajoute, la mobilité de ces invertébrés et leur stratégie d'alimentation sans oublier de signaler que le régime hydrique en Algérie du nord est aléatoire, avec des pluies torrentielles suivies souvent de longues journées sèches. Ainsi, l'influence des températures et de l'humidité des sols se fait sentir, d'une part sur l'évaporation et d'autre part, sur les réserves en eau des sols.

III. Abondance des Nématodes durant la saison estivale

Le fonctionnement global du sol fait intervenir de très nombreux paramètres d'ordre physique, chimique et biologique. En d'autres termes, les composantes physiques, chimiques et biologiques ne sont pas additives mais interactives. Il en résulte que la qualité biologique des sols peut difficilement être abordée indépendamment des autres facteurs (CHAUSSOD, 1996). Pour un meilleur développement de la culture de pomme de terre, il faut prendre en considération la satisfaction de ses exigences nutritionnelles, pédoclimatiques et biologique. Cependant, il faut donc concevoir une approche agronomique de la méso faune, basée sur l'orientation vers le maintien d'un équilibre biologique. Les travaux relatifs à la détermination de cette classe d'invertébrés, particulièrement les Nématodes sous cette culture sont très rares d'où l'intérêt de cette partie du mémoire.

Tableau 4 : Données quantitatives des nématodes durant la période estivale.

Point	Nombre de nématodes
P11 E	48
P12 E	5
P21 E	53
P22 E	37
P31 E	38
P32 E	50
P41 E	33
P42 E	40
P51 E	50
P52 E	21
P61 E	22
P62 E	30
P71 E	30
P72 E	32
P81 E	43
P82 E	35
P91 E	10
P92 E	38
P101 E	35
P102 E	50

La Figure (17) représente l'abondance des nématodes des sols étudiés durant la période estivale. La méso faune du sol est très active en été, quand toutes les conditions sont favorables et avec une température élevée il ya prolifération de cette méso faune (Larochelle, 2004).

Nous avons constaté dans les prises d'essai que la prolifération de la méso faune est très importante. Ce qui justifie notre choix pour dénombrer les Nématodes uniquement dans cette partie du travail. Les Nématodes représentent pour nous le groupe le plus important de cette classification morpho métrique (Tableau 4).

Le dénombrement des Nématodes a révélé des abondances plus élevées dans le niveau N2 part à port aux niveaux N1 pour tous les points échantillonnés (Figure 17). Cette différence est liée à l'importance des humidités des N2 comparativement aux niveaux N1 (Figure 15). Il est connu que l'humidité est un facteur abiotique essentiel pour la reproduction des nématodes dans le sol (Parisi et al., 2005).

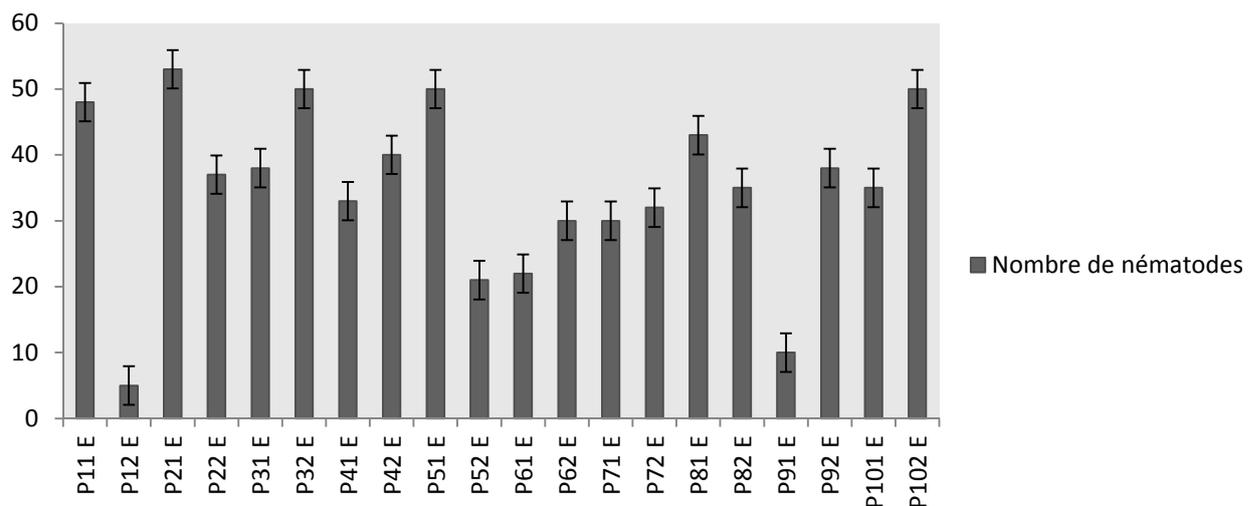


Figure 17: Abondance des Nématodes durant la saison estivale

IV. Effet saison sur l'abondance des nématodes

Une meilleure connaissance du bio fonctionnement des sols de sous une culture de pomme de terre sur les changements des propriétés physiques et chimiques en deux saison est nécessaire. La convergence climatique fait du nord de l'Algérie une région idéale pour comprendre l'effet saisonnier, du type de culture, ainsi que l'effet de leur interaction sur l'abondance et la diversité des nématodes dans les sols.

Tableau 5: Variation saisonnière des abondances de Nématodes

Point	Nbre nématodes hiver	Nbre nématodes été
P11	19	48
P12	7	5
P21	3	53
P22	2	37
P31	15	38
P32	12	50
P41	14	33
P42	15	40
P51	15	50
P52	15	21
P61	12	22
P62	5	30
P71	15	30
P72	18	32
P81	10	43
P82	20	35
P91	43	10
P92	5	38
P101	5	35
P102	10	50

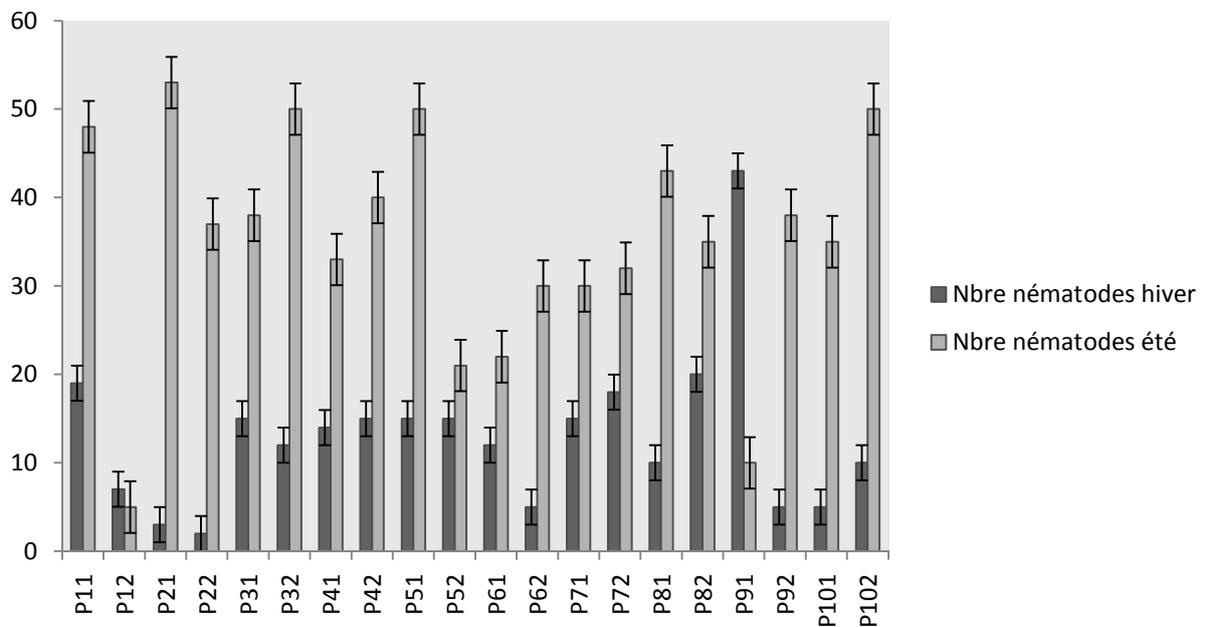


Figure 18: Effet saison sur les abondances des Nématodes

L'abondance des Nématodes est plus élevée en été comparativement à l'hiver (Tableau 5). Cette dernière varie différemment entre l'hiver et l'été par rapport aux niveaux. En hiver, ils sont plus présents dans les N1 comparativement aux N2, contrairement à la période estivale où les N2 affichent des abondances plus importantes que les N1. Avec l'augmentation des températures en été, les nématodes s'infiltrèrent dans le sol (N2) cherchant l'humidité pour pouvoir se déplacer et éviter la déshydratation et pouvoir se multiplier (Figure 18) (Gobat *et al.*, 1998).

V. Analyses de la variances

Dans le but d'une meilleure interprétation des résultats et de mieux comprendre l'effet des conditions pédoclimatiques sur la distribution et la densité de la méso faune nous avons opté pour une analyse de la variance en utilisant le logiciel Stat box.

V.1. Facteur sol pour la saison hivernale

L'illustration de l'effet des sols sur la distribution et la densité de la méso faune dans les différents points de la station de Boukhalfa, est donnée avec l'analyse de variance pour ce facteur (Tableau 6, 7, 8). Les différences entre les points d'échantillonnage sont hautement significatives pour les Acariens et les Collembolés (Tableau 6 & 7) et significatives pour les nématodes (Tableau 8).

Tableau 6 : Analyse de variance des acariens par rapport au site

	Ddl	SC	CM	F	Proba
Point	10,00	2398,55	239,86	38,55	0,00
Var. résiduelle	9,00	56,00	6,22		
Total	19,00	2533,46			

Tableau 7: Analyse de variance des collemboles avec le facteur point

	ddl	SC	CM	F	Proba
Point	10,00	1521,20	152,12	4,82	0,01
Var.résiduelle	9,00	284,00	31,56		
Total	19,00	1810,76			

Tableau 8 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur point

	ddl	SC	CM	F	Proba
Point	10,00	609,00	60,90	0,62	0,04
Var.résiduelle	9,00	891,00	99,00		
Total	19,00	1500,66			

cette analyse nous permet de conclure sur l'importance de la méso faune sur le fonctionnement de ce sol fragilisé après plusieurs perturbations anthropiques et l'effet de certains facteurs abiotiques. Cependant les acariens et les collemboles jouent un rôle dans la micro fragmentation, le brassage de la matière organique, la dispersion et régulation de la microflore, mais aussi la régulation des populations de la microfaune ainsi que méso faune (Larochelle,2004;Peres et *al.*,2010). De plus les Collemboles ont la particularité de stimuler les populations fongiques et peuvent devenir nuisibles pour la culture(Moor et al., 2002). En l'occurrence, les nématodes sont impliqués dans le maintien de la fertilité des sols, avec l'hypothèse qu'ils peuvent être nuisibles pour la culture de pomme de terre quand le bio fonctionnement d'un sol est perturbé (Nadama, 2006).

V.2. Facteur niveau pour la saison hivernale

La représentation de l'effet niveau pendant la saison hivernale sur la distribution et la densité de la méso faune dans les différents niveaux de cet agro système, est donné avec l'analyse de variance pour ce facteur Tableaux (9, 10, 11). Les différences entre les niveaux d'échantillonnage prospectés sont non significatives pour les Acariens , les Collemboles, et les nématodes..

Tableau 9 : Analyse de variance des acariens avec le facteur niveau

Tableau d'analyse de variance

	ddl	SC	CM	F	Proba
Niveaux	1,00	92,45	92,45	0,70	0,41
Var.résiduelle	18,00	2362,10	131,23		
Total	19,00	2454,55			

Tableau 10 : Analyse de variance des collemboles avec le facteur niveau

Tableau d'analyse de variance

	ddl	SC	CM	F	Proba
Niveaux	1,00	88,20	88,20	0,92	0,35
Var.résiduelle	18,00	1717,00	95,39		
Total	19,00	1805,20			

Tableau 11 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur niveau

Tableau d'analyse de variance

	ddl	SC	CM	F	Proba
Niveaux	1,00	88,20	88,20	1,12	0,30
Var.résiduel le	18,00	1411,80	78,43		
Total	19,00	1500,00			

L'analyse de la variance sur les différents prélèvements effectués sur les deux profondeurs (N1-N2), nous ont permis de distinguer une variation distincte de la répartition et l'abondance de la méso faune recensés dans chaque niveau. La variation de ces invertébrés diffère d'un niveau à un autre varient d'une manière non significative durant la saison hivernale Tableaux (9, 10, 11), Ce qui pourrait être expliqué par les propriétés intrinsèques des sols des niveaux prospectés. Particulièrement l'effet d'une hydromorphie temporaire à cette période de l'année (Soltner, 1987 ; Beauchamp, 2003)

V.3. Facteur sol pour la saison estivale

Pour la saison estivale l'analyse de la variance est faite uniquement pour le groupe des nématodes. Cependant, l'effet saison sur leur distribution et leur densité n'est pas significatif (Tableaux 12,13).

Tableau 12 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur point

<i>Tableau d'analyse de variance</i>					
	Ddl	SC	CM	F	Proba
Point	10,00	1512,50	151,25	0,79	0,64
Var.résiduelle	9,00	1719,50	191,06		
Total	19,00	3232,04			

V.4. Facteur niveau pour la saison estivale

L'analyse de la variance nous permet de comprendre pourquoi l'abondance de la méso faune globale est plus élevée durant la saison estivale comparativement à la saison hivernale. Il important de signaler que dans cette partie du travail nous avons dénombré uniquement les nématodes. Les échantillons sont conservés dans de l'éthanol pour être analysés puis identifiés par la suite. La littérature nous a montré que cette augmentation de la méso faune est étroitement liée à l'augmentation des températures, qui stimulent et favorisent leur prolifération (Gobat et *al.*, 1998). Néanmoins, les collemboles qui sont abondants, constituent une ressource alimentaire pour les acariens (Bachelier, 1979).

Tableau 13 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur niveau

Tableau d'analyse de variance

	Ddl	SC	CM	F	Proba
Niveaux	1,00	28,80	28,80	0,16	0,69
Var.résiduelle	18,00	3203,20	177,96		
Total	19,00	3232,00			

La différence des abondances durant les deux saisons n'est pas significative par rapport à l'effet niveau, elle est non significative pour la période estivale .

V.5. Effet saison sur l'abondance pour les sols

Les variations de la l'abondance des nématodes dans les sols et les niveaux est non significative pour les sols mais significatives pour les points (Tableaux 14 et 15).

Tableau 14 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur point

Tableau d'analyse de variance

	ddl	SC	CM	F	Proba
Point	21,00	6961,50	331,50	2,29	0,04
Var.résiduelle	18,00	2610,50	145,03		
Total	39,00	9572,52			

Tableau 15 : Analyse de variance des nématodes avec le facteur niveau

Tableau d'analyse de variance

	ddl	SC	CM	F	Proba
Niveaux	1,00	108,90	108,90	0,44	0,51
Var.résiduel le	38,00	9463,10	249,03		
Total	39,00	9572,00			

Ces résultats montrent que l'abondance des nématodes en été est justifiée par le fait que ces derniers sont considérés comme des auxiliaires et donc peuvent être bénéfiques pour cette culture, même si ils sont souvent nuisibles et causent plusieurs dégâts sur la culture (Moor et al., 2002).

V.6. Analyse en composante principale

	collemboles	acariens	nématodes	Humidité	pH	CaCO ₃	C	CEC	Nt	Pol	Pt	A
collemboles	1	-0,19	0,35	-0,09	0,39	0,39	0,39	-0,39	0,39	-0,39	0,39	0,39
acariens	-0,19	1	0,02	0,11	-0,20	-0,20	-0,20	0,20	-0,20	0,20	-0,20	-0,20
nématodes	0,35	0,02	1	-0,18	0,15	0,15	0,15	-0,15	0,15	-0,15	0,15	0,15
Humidité	-0,09	0,11	-0,18	1	0,24	0,24	0,24	-0,24	0,24	-0,24	0,24	0,24
pH	0,39	-0,20	0,15	0,24	1	1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	1,00
CaCO ₃	0,39	-0,20	0,15	0,24	1,00	1	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	1,00
C	0,39	-0,20	0,15	0,24	1,00	1,00	1	-1,00	1,00	-1,00	1,00	1,00
CEC	-0,39	0,20	-0,15	-0,24	0,00	-1,00	-1,00	1	-1,00	1,00	-1,00	-1,00
Nt	0,39	-0,20	0,15	0,24	1,00	1,00	1,00	-1,00	1	-1,00	1,00	1,00
Pol	-0,39	0,20	-0,15	-0,24	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	-1,00	1	-1,00	-1,00
Pt	0,39	-0,20	0,15	0,24	1,00	1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1	1,00
A	0,39	-0,20	0,15	0,24	1,00	1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

Pour une meilleure approche entre les groupes de la méso faune et la relation entre eux et leur milieu, nous avons fait une ACP pour mieux distinguer l'impact des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols sur la qualité biologique des sols. La matrice montre aucune interaction significative en les collemboles, acariens et nématodes par contre les variables de sol sont à signaler.

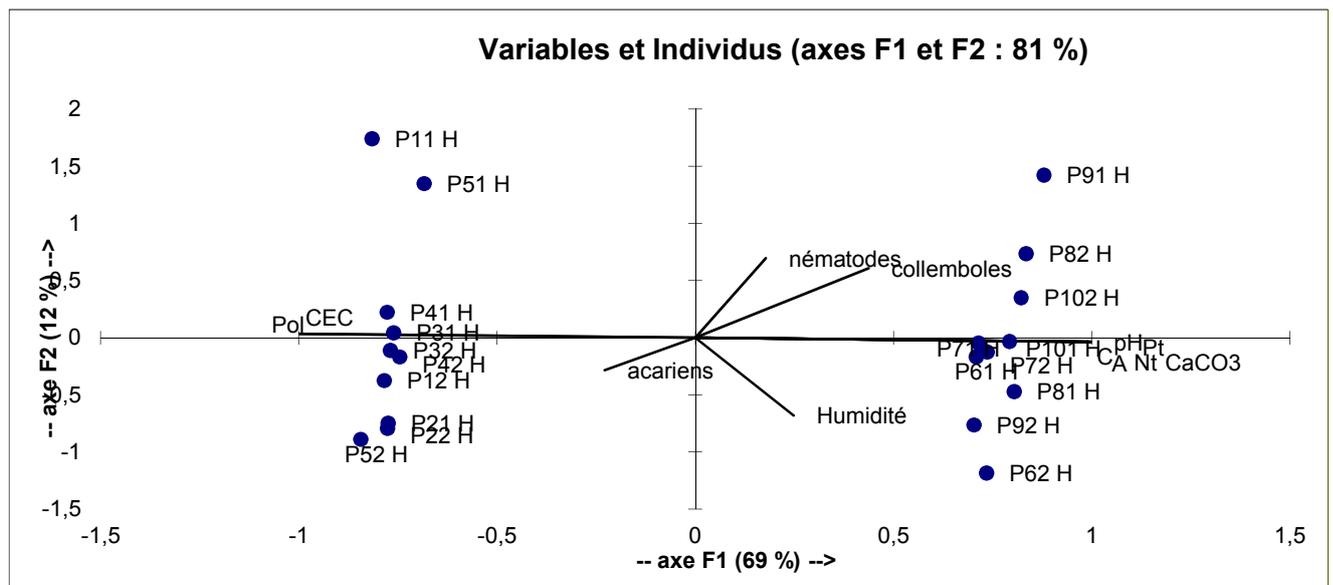


Figure 20 : Projection des différentes variables et individus sur le plan factoriel

Le plan F1,F2 explique 81% d'information avec 69% pour l'axe 1 et 12% pour l'axe 2, part a port a l'axe 1 nous pouvons définir 02 groupes :

Le groupe 1 se caractérise par un pourcentage élevé d'acariens avec des sols montrant un taux élevé de phosphore (PO) et une CEC importante.

Le groupe 2 se caractérise par des nématodes, collemboles et l'humidité et le reste des caractéristiques de sol considéré (P91H, P82H, P102H, P101H, P71H, P61H, P72H, P81H, P92H, P62H).

Pour ce qui est de l'axe 2 , nous pouvons noter l'opposition des nématodes et collemboles avec les acariens et l'humidité de sol.

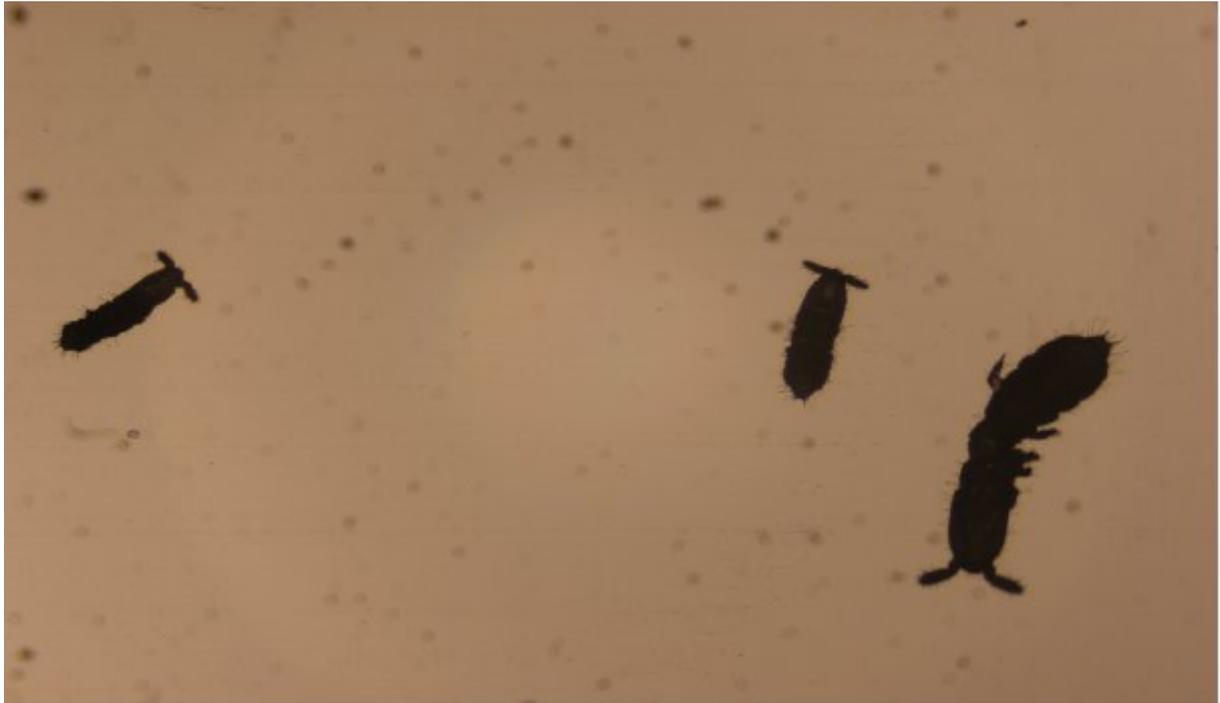


Figure 21 : Groupe de Collemboles (Gx40)



Figure 22 : Collembole (Gx100)



Figure 23 : Colonie de Nématodes (Gx40)



Figure 24 : Nématode (Gx40)

Conclusion

Le sol regroupe un ensemble d'organismes vivants qui assurent son bio-fonctionnement et procèdent à des interactions avec les composantes physiques et chimiques de celui-ci, permettant la dynamique de la matière organique, le recyclage des nutriments. Le sol est argileux avec une abondance importante en invertébrés de la méso faune constituée les groupes de nématodes, collemboles et acariens. La dynamique de cette communauté est importante dans les deux niveaux échantillonnés (N1 et N2) sur chaque point de prélèvement.

L'abondance des groupes de la méso faune est importante avec une dominance des nématodes durant la saison hivernale comparativement aux autres groupes. Elle varie d'une manière significative avec un effet saison important. Ce travail a montré que les conditions du milieu particulièrement les caractéristiques physiques et chimiques des sols ont un impact important sur la présence et l'absence de certains invertébrés du sol. Par ailleurs la texture argileuse n'est pas favorable pour le développement des collemboles et des Acariens. L'effet de la saison estivale est très marqué par rapport au développement des nématodes comparativement aux autres groupes. Ainsi, les nématodes envahissent les sols pendant cette période de l'année qui coïncide avec la culture de pomme de terre. Cette biomasse importante est à l'origine des attaques de la récolte et impactera négativement la qualité de cette production et la baisse des rendements.

En plus de la valeur alimentaire de la pomme de terre, la production de semences devra faire l'objet de plus d'organisation et de protection surtout en ce qui concerne les aspects phytosanitaires qui sont principalement les nématodes qui devront être rigoureusement suivis. Une préoccupation majeure est essentielle pour la protection des terres agricoles et l'environnement de tous les parasites. Il est intéressant de compléter ce travail par une systématique détaillée de ces groupes afin de mieux comprendre l'impact des conditions environnementale sur la biodiversité des sols sous cette culture. Il faut voir aussi l'effet saison sur cette biodiversité afin de mieux comprendre l'équilibre de ces populations avec la multiplication du nombre d'échantillons.

Références bibliographiques

- **Albouy V ., Caussanel Cl., 1990.** Dermaptères ou Perce-oreilles. Faune de France n° 75. 245p.
- **Amrar S., 2014.** La culture de pomme de terre : situation de la production et répartition géographique. Institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI). 19p.
- **Anonyme 1** , <http://Fr.googleearth/Boukhalfa>.
- **Antunes S.C., Pereira R., Sousa J.P., Santos M.C., Gonçalves F., 2008 .** Spatial and temporal distribution of litter arthropods in different vegetation covers of Porto Santo Island (Madeira Archipelago, Portugal). European Journal of Soil Biology 44, 45-56p.
- **Aubert M., Hedde M., Decaens T., Margerie P., Alard D., Bureau F., 2005.** Facteurs controlant la variabilité spatial de la macrofaune du sol dans une hêtraie-charmaie. Comptes Rendus Biologies, 328, 57-74p.
- **AUCLERC A., 2012.** Effets d'amendements calco-magnésiens sur la diversité des macro invertébrés de sols forestiers et sur certains processus fonctionnel associés. Université de Lorraine.252p.
- **Bachelier G., 1979.** La faune des sols son écologie et son action. Ed. O.R.S.T.O.M, 391p.
- **Beauchamp J., 2003.** Article ; Propriétés des sols. Université de Picardie Julie.24p.
- **Bedano J.C., Canti M.P., Doucet M.E., 2006.** Soil sprintails (Hexapoda : Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda : Myriapoda) under different management in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). Eur. J. of Soil Biology 42, 107-119p.

- **Blake R.J., Woodcock B.A., Ramsay A.J., Pilgrim E.S., Brown V.K., Tallowin J.R., Potts S.G., 2001.** Novel margin management to enhance Auchenorrhyncha biodiversity in intensive grasslands. *Agri. Ecosyst.*116p.
- **Bockstaller C., Dominique A., 2013.** AGROECOLOGIE : Définition et Bases scientifiques. Ed. INRA. 22p.
- **Boudiaf Nait-Kaci M., Hedde M., Mouas Bourbia S., Derridj A., 2014.** Hiérarchisation des facteurs déterminant la macrofaune du sol de vergers du nord de l'Algérie. Vol. 18, No 1.
- **Chinery M., 1987.** Insectes d'Europe en couleurs. Ed. ISBN .204p.
- **Coineau Y., 1974.** Un type nouveau d'Acariens Pro stigmates libres: les Saxidromoidea nouvelle superfamille. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* .278p.
- **Coyne D.L., Nicol J.M ., Claudius C.B., 2010.** Les nématodes des plantes : Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire. Traduit par Patrick Queneherve. International Institute of tropical Agriculture.93p.
- **Davet P., 1996.** La vie microbienne du sol et production végétale. Ed. INRA. 380p.
- **Duchaufour., 1979 .** Pédologie : Pédogenèse et classification.UFR Paris, 477p.
- **FILAHANNOVE., 2009.** Renforcement de la synergie agriculture et les industries agro alimentaire. L'année internationale de la pomme de terre.20p.
- **Gobat J.M., Aragono M., Matthew Y.W., 2003.** Base de pédologie ; biologie des sols: le sol vivant. Ed. Lausanne.522p.
- **Institut National de la Protection des Végétaux., 2001.** Sols, détection des nématodes à kystes de la pomme de terre par élutriation ou centrifugation. Ministère de l'agriculture et de la pêche .8p.
- **Janssens F., Dethier M., 2005.** Contribution à la connaissance des Collemboles des milieux souterrains de Belgique. *Bulletin des Chercheurs de la Wallonie* .165p.
- **Jean C., 2002.** Maladies et insectes nuisibles et utiles de la pomme de terre. (IRDA). Sainte-Foy (Quebec). 32p.

- **Larochelle L ., 2004.** L'impact du bois raméal fragmenté sur la dynamique de la méso faune du sol 2^{ème} Edition février 2004.édité par le groupe de coordination sur les bois rameaux, Département des sciences du bois et de la forêt. Université Laval Québec.65p.
- **Linder C., Höhn H., 2011.** Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture. Ed.A.M.T.R.A.43p.
- **Machado., Benedito H., 2009.** Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, Volume 36, Issue 12, pages 1186–1187.
- **Martins F., Costa M., Galhano C.I.C., 2015.** On the way for a new bionematicide. Agriculture & Food Journal of International Scientific Publications. Volume 3, pp: 130- 137p.
- **Moor J.D, Rock O, Camir C, Houle D, 2002.** Impact des coupes forestières sur la faune du sol. Naturaliste canadien Vol126 N 2. 55-58p.
- **Morón-Ríos A., Rodríguez Miguel Á., Pérez-Camacho L., Rebollo S., 2010.** Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field. European Journal of Soil Biology 46, 91-96p.
- **Nadama., 2006.** Influence de trois modes de gestion des sols sur le profil de la macrofaune du sol en parcelles cotonnières paysannes au nord Cameroun, 8^{ème} promotion F.A.S.A.66p. U.F.R Sciences de la vie et de l'environnement. 266p.
- **Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E., 2005.** Microarthropods communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. Agriculture Ecosystems and Environment 105, 323-333p.
- **Paulian, R. 1990.** Aphodiidae.- Paris, 1-14 , 223-23p.
- **PELOSI C., 2008.** Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *Lumbricus terrestris* au champ, contribution a l'étude de l'impact de systèmes de cultures sur les communautés lombriciennes. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech).141p.
- **Pérés G., 2003.** Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et macro-bio porosité dans le contexte dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol. Thèse de Doctorat à l'université de Rennes 1 .

- **Pérés G., Boulonne L., Guernior M., 2010.** Mesure de la biodiversité du sol. R.M.Q.S. Biodiv. 36p.
- **SOLTNER D., 1987.** Les bases de la production végétale. TOME 1 : Le sol, 15ème Edition.465p.
- **Véla E., Benhouhou S., 2007.** Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord), *C. R. Biologies*, n° 330, 2007, p. 589–605.