

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master.

Spécialité : Sciences Agronomiques.

Option : Protection des Plantes Cultivées

Thème

Abondance saisonnière des invertébrés du sol sous cultures fourragères : Cas du trèfle et de l'orge.

Présenté par :

M^{lle} : MOHAMMEDI Leila

M^{lle} : LOUNIS Sabrina

Devant le jury :

Présidente : M^{lle} SETBEL S.

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

Promotrice : M^{me} NAIT KACI M

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

Examineurs : M^f ALILIN

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

M^{me} LEKMACHE Y.

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

Promotion 2014 /2015

Sommaire

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. le sol et ses fonctions	03
II. La vie dans le sol	03
III. La faune dans le sol	04
IV. Classification de la faune du sol	05
IV. 1. Détermination des invertébrés en fonction de la taille	05
IV.1.1. Microfaune	05
IV.1.2 Mésofaune	05
IV.1.3 Macrofaune	05
IV.2. taxinomie	06
IV.2.1. les nématodes.....	06
IV.2.2. les Arachnides.....	06
VI.2.2.1. les acariens	06
IV.2.2.2. les araignées	07
IV.2.3. Les insectes.....	07
IV.2.3.1. Les Collemboles	07
IV.2.3.2. les coléoptères.....	08
IV.2.3.3.les hyménoptères.....	08
IV.2.4.Les Myriapodes	08
IV.2.5. Les annélides	09
IV.2.6. les gastéropodes.....	10
IV.3. Classification fonctionnelle de la macrofaune	10
IV.3.1.Les épigés.....	10
IV.3.2.Les endogés.....	10
IV.3.3. Les anéciques	10
V. Action de la faune sur le sol	10
V.1. Action mécanique	11
V.2. Action chimique.....	11
V.3. Action biologique	11
VI. Rôle écologique.....	12

VII. l'orge.....	12
VII. 1. Morphologie de la plante	13
VII.1.1. Système racinaire	13
VII.1.2. Tige et écorce	13
VII.1.3. Feuilles	13
VII.1.4. Inflorescence	13
VII.1.5. Fleurs	14
VII.1.6. Fruits	14
VII.2. Exigences climatique	14
VII.2.1. température	14
VII.2.2. Pluviométrie	14
VII.3. Exigences édaphiques	14
VII.3.1. Semis	15
VII.3.2. Cycle de vie	15
VII.4. Position systématique.....	15
VIII. le trèfle violet.....	16
VIII.1. Morphologie	16
VIII.1.1. Système racinaire	16
VIII.1.2. La tige	17
VIII.1.3. Feuilles	17
VIII.1.4. Fleurs.....	17
VIII.2. Exigences climatiques	17
VIII.3. Exigences édaphiques.....	17
VIII.4. Cycle de développement.....	17
VIII.5. Position systématique	18
IX. Relation faune du sol et culture.....	18

Chapitre II : Matériels et méthodes.

I. Situation géographique	21
II. Synthèse climatique	22
III. Echantillonnage	22
III.1. Choix de la station	22
III.2. Choix de la période d'échantillonnage	22

IV. Matériels utilisés	23
IV.1. Prélèvements des sols et des invertébrés.....	23
IV.2. Période d'échantillonnage	23
IV.3. Récolte des échantillons de sol.....	24
V. Extraction des invertébrés du sol.....	25
V.1. Tri et dénombrement	26
V.2. Conservation des échantillons	27
VI. Caractérisation des sols.....	28
VII. Analyse statistique	28

Chapitre 3 : Résultats et discussion.

I. Abondance des invertébrées pendant la saison hivernale	30
I.1. Abondance des invertébrées sous le trèfle	30
I.2. Abondance des invertébrés sous l'orge.....	33
II. Abondance des invertébrés pendant la saison estivale	33
II.1. Abondance des invertébrés sous trèfle.....	33
II.2. Abondance des invertébrés sous orge	34
III. Discussion des résultats.....	35
III.1. Effet saison sur l'abondance des invertébrés.....	36
III.1.1. Effet saison sur l'abondance des invertébrés sous le trèfle	37
III.1.2. Effet saison sur l'abondance des invertébrés sous l'orge	38
III.2. Impact du type de culture sur la variation de la faune des sols	38
IV. Analyse en composante principale.....	39
Conclusion et perspectives	42

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 1: situation géographique de l'ITMAS (Anonyme 1).....	21
Figure 2 : quadra d'échantillonnage	24
Figure 3 : prélèvement du sol	24
Figure 4 : Collecte des échantillons	25
Figure 5 : Appareil de Berlese-Tullgren.....	26
Figure 6 : loupe binoculaire.....	26
Figure 7 : matériels utilisés au laboratoire	27
Figure 8: Conservation des échantillon.....	28
Figure 9 : Abondance relative des individus recensés sous le trèfle	30
Figure 10 : quelques individus de la mésofaune observée sous la loupe	31
Figure 11 : la macrofaune récoltée	32
Figure 12 : abondance des invertébrés dans le sol sous l'orge.....	33
Figure13: abondance estivale des invertébrés du sol sous le trèfle	34
Figure 14: Abondance relative des individus recensés en saison estivale.....	34
Figure 15 : effet des facteurs influençant l'abondance des invertébrés selon le R	35
Figure 16 : effet végétation sur l'abondance des invertébrés recensés	39
Figure 17 : Projection des différentes variables et individus sur le plan factoriel	40
Figure 18 : Projection des différentes variables et individus sur le plan factoriel	41

Liste des abréviations

ACP: analyse en composantes principales

E: échantillon

ITMAS: l'institut de technologie moyen agricole spécialisé (ITMAS)

N: niveau

O: orge

T:tréfle

Les données du sol :

A : argile

C org : carbone organique

Hg : hygrométrie

Lf : limon fin

Lg : limon grossier

N : azote

Sf : Sable fin

Sg : sable grossier

Les invertébrés du sol :

A.cle : adulte de coléoptère

Aca : acariens

Ann : annélides

Ara : aranéides

Col : collembole

Clo : cloporte

Gas : gastéropode

L.cle : larve de coléoptère

Myr : myriapode

Ném : nématode

Le biofonctionnement des sols regroupe un ensemble de fonctions assurées par les organismes vivants et qui sont en interaction avec les composantes physiques et chimiques d'un sol, permettant la dynamique de la matière organique et de l'eau, ainsi que le recyclage des nutriments (Lavelle et Spain, 2001 ; Decaens, 2010). Cependant, la faune du sol est longtemps restée méconnue, peut être en raison de sa taille souvent minuscule, la multitude d'espèces et du manque apparent de son intérêt. L'étude de cette dernière n'a pris véritablement essor qu'à la fin du 20^{ème} siècle suite à l'importance des ravageurs des cultures (Deprince, 2003). L'activité des organismes vivants du sol est particulièrement importante à déterminer non seulement au niveau global mais aussi au niveau des activités d'intérêt agronomique et environnemental.

Les invertébrés du sol présentent une diversité taxonomique importante. Ils comprennent des organismes de petite taille comme les nématodes, qui vivent dans les films d'eau autour des particules de sol, des organismes de taille intermédiaire comme les acariens et les collemboles 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 (Uvarov et Scheu, 2004 et Aubert *et al.*, 2005).

Le rôle bénéfique de ces êtres vivants dans le fonctionnement et l'écologie des sols est encore mal connu dans la gestion du sol. Ils sont pourtant des indicateurs de la qualité des sols et doivent être considérés comme une ressource permettant d'améliorer les agroécosystèmes (Morris et Campos, 1999). Les sols constituent donc des écosystèmes à part entière à la base de la production végétale et la qualité agronomique des sols repose à la fois sur des composantes physico-chimiques mais aussi biologiques. Les systèmes de production agricole doivent donc tenir compte de ces composantes biologiques par des pratiques culturales adaptées.

La nécessité d'études sur le terrain de l'influence des pratiques agricoles sur les organismes vivants du sol a été souligné à plusieurs reprises (Filser *et al.*, 2002 et Bedano *et al.*, 2006). La réduction de la biodiversité en raison de la perte d'habitat et la dégradation des écosystèmes a fait qu'il est essentiel d'établir des priorités d'utilisation des terres pour leur conservation (Wilson *et al.*, 2006). Ces priorités ont été suggérées sur une gamme d'échelles géographiques principalement à travers des points chauds de la diversité ou d'endémismes, identifiés pour la préservation (Shanas *et al.*, 2011). Dans les milieux méditerranéens, les conditions climatiques et pédologiques agissent fortement sur la réduction de la dynamique de

la succession des communautés (Fadda *et al.*, 2008). Les politiques mises en œuvre et adoptées ont conduit à une dégradation des agrosystèmes pour les quels actuellement on tente de restaurer les fonctions (Santos *et al.*, 2007).

En Algérie, deux espèces fourragères, le trèfle (*Trifolium pratense*) et l'orge (*Hordeum vulgare*) sont les plus cultivées car elles s'adaptent parfaitement aux étés longs et secs de cette région et sont d'une importance socio-économique considérable, étant donné la place qu'elles occupent dans la vie quotidienne des populations (Boudiaf Nait Kaci *et al.*, 2014).

Plusieurs études qui se sont intéressées à ces deux espèces dans la région de Kabylie en conditions naturelles et sur sols peu remaniés ont dévoilé que la nature de ses sols qui sont pauvres en éléments nutritifs (Boudiaf Nait Kaci *et al.*, 2014) peuvent être à l'origine des faibles rendements de ces cultures. 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 ces cultures est indispensable pour en garantir une gestion intégrée, tout en produisant un fourrage 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 (Beauchamp, 2013).

L'objectif est de décrire les facteurs qui structurent les communautés d'invertébrés des sols dans une station expérimentale. La structure et la diversité des communautés sont en effet contrôlées par une suite de facteurs hiérarchisés qui agissent comme des filtres environnementaux à des échelles spatiales et temporelles qui leur sont spécifiques. Leur abondance et diversité sont utilisées dans le calcul de différents indices de qualité du sol (Decaëns *et al.*, 2003). 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 et des perspectives pour clore cette étude.

I. le sol et ses fonctions

Le sol correspond à la partie superficielle de l'écorce terrestre couverture de la lithosphère en contact avec l'atmosphère, il est soumis à des altérations d'ordre biotiques et abiotiques, donc le sol est présenté comme un produit d'interface de l'interaction entre différentes composantes : la roche, l'eau, l'air (Alvarez et *al.*, 2002).

Le sol est non seulement un réservoir d'activités, mais également un réservoir d'êtres vivants. C'est un milieu complexe organisé et hétérogène (Gobat et *al.*, 2010).

L'organisation des horizons du sol, la distribution des pores en fonction de la taille et la répartition des invertébrés sont l'exemple de la structure dans le sol (Lavelle et *al.*, 2006).

L'abondance et la diversité des formes animales présentes dans le sol, tant forestier qu'agricole, reflètent donc les différences du fonctionnement du sol en fonction de la sensibilité des invertébrés vis-à-vis des caractéristiques de milieu (Ponge, 2010).

Ces différents acteurs sont de taille très variable, depuis la microfaune jusqu'à la macrofaune, et chacun présente un domaine fonctionnel, c-à-dire un champ d'action, dans l'espace et le temps (Lavelle, 2002).

Le sol est donc un milieu très complexe où les différents organismes sont relativement interdépendants (Mathieu, 2004).

II. La vie dans le sol

Les sols sains abritent d'innombrables formes de vie depuis les champignons microscopiques, les bactéries, les algues, les protozoaires et les nématodes, jusqu'aux organismes plus grands comme les collemboles, les fourmis, les lombrics. Ces organismes contribuent directement dans l'aération du sol et le transport de l'humus de la surface vers les couches inférieures (Gobat et *al.*, 2010).

Les différents compartiments du sol vivant ont diverses fonctions, qui assurent le bon fonctionnement de celui-ci. Ainsi, les bactéries sont des régulatrices essentielles des équilibres gazeux et des cycles biogéochimiques du sol. Les interactions entre ces bactéries et la plante peuvent être bénéfiques ou non et leurs effets varient en fonction des conditions de variation du sol et d'environnement (Zhenyou, 2010).

Les champignons transportent des quantités importantes d'eau et de substances, participent à la dégradation de la litière et à sa transformation en humus. Quant à la faune du sol, son rôle fondamental réside dans la transformation de la matière organique et dans son action mécanique sur les sols : formation de galeries, porosité, structuration des agrégats (Lavelle et *al.*, 2006).

III. La faune dans le sol

Pour la faune du sol, la couverture pédologique représente une diversité d'habitat par sa composition physique et chimique très variable. Cette dernière exerce des contraintes sur les stratégies adaptatives des différents taxons et offre ainsi des niches trophiques multiples (Girard, 2005).

La richesse spécifique de tous les groupes est supérieure dans les points avec couverture que dans ceux avec le sol nu (Mathieu, 2004)

Dans les sols agricoles, malgré une uniformité apparente des horizons de surface, la composition faunistique varie dans de fortes proportions, notamment du degré d'intensification de l'agriculture (Ponge, 2010).

Les communautés biologiques présente au sein des écosystèmes terrestres cultivés influencent sur leur productivité et leur durabilité directement (cas des bioagresseurs) et indirectement (ingénieurs du sol) ou des transformateurs de litière (Amsallam et *al.*, 2012)

Certaines pratiques culturales ont un effet positif sur le développement des communautés d'invertébrés dans le sol, c'est le cas des Techniques Culturales Sans Labour. Par rapport à la technique conventionnelle du labour, ces techniques permettent d'augmenter les densités de vers de terre en général et de favoriser le développement des espèces fousseuses anéciques (Maurer, 2006).

Actuellement, la faune du sol représente plus de 80% de la biodiversité animale dont les plus importants représentants, les vers de terre, constituent la première biomasse animale terrestre. Tous ces animaux, sous terrains interagissent avec leur milieu, tout en ayant un impact sur sa structure et sa composition (Gobat et *al.*, 2010).

IV. Classification de la faune du sol

La biodiversité est la clef de la structure et le fonctionnement des écosystèmes (Mariivask et *al.*,2008).

L'histoire de la biologie du sol montre qu'il faut identifier les animaux avec un maximum d'exactitude, c'est pourquoi la systématique qui fut la première discipline des sciences naturelles, garde son actualité (Gobat et *al.*,2010).

Une classification plus fonctionnelle peut être utilisée en liant les organismes à leur milieu et notamment aux ressources qu'ils proposent (alimentation et habitat). La taille, le régime alimentaire, la position dans le sol, les adaptations morphologiques, le mode de progression, la durée de présence dans le sol constitue d'autres paramètres de classification de la pédofaune (Freysinel, 2007).

IV. 1. Détermination des invertébrés en fonction de la taille

Dans un but essentiellement didactique et en schématisant, on peut d'après la taille des individus diviser la faune du sol en un certain nombre de groupes (Lavelle, 1988 ; Lavelle et *al.*, 1992, Stork et Eggleton, 1992).

IV.1.1 Microfaune

Leurs taille est inférieure à 0,2 mm, les principaux représentants de la microfaune sont les nématodes et les protozoaires. Le régime alimentaire de ces groupes est constitué de champignon, bactéries, débris organiques et algues (Chaussod, 1996 et Girard et *al.*, 2005).

IV.1.2 Mésofaune

Comprend principalement les arachnides et les insectes comme les Collemboles avec une taille des individus de 0,2 à 4mm. Son rôle principal consiste à déchiqeter la litière. Les Collemboles sont de petits insectes qui se nourrissent principalement de champignons et de spores de ces derniers. Ils contribuent à décomposer des débris organiques et ils améliorent la structure du sol (Gobat et *al.*, 2010).

IV.1.3 Macrofaune

Composé des animaux de taille entre 4 et 80mm .On y recense des lombrics, des larves d'insectes (en majorité des larves de Diptères et des Coléoptères), des Cloportes, des

Myriapodes, des limaces et des escargots, des Araignées ainsi que des insectes divers (Brown et *al.*, 2002).

IV.2. taxinomie

IV.2.1. les nématodes

Sont les animaux les plus abondants et les plus répandus sur le globe, notamment dans les sols riches en matières organiques et à régime assez humide. Ils se rencontrent principalement dans les 10 ou 20 premiers centimètres du sol (Bachelier, 1963).

Les nématodes du sol possèdent des qualités multiples qui en font des indicateurs pertinents du fonctionnement du sol, ils intègrent un grand nombre d'information sur l'état de la micro-chaine trophique du sol qui est responsable de la décomposition et de la minéralisation des nutriments (Villeneuve, 2009).

IV.2.2. les Arachnides

Le corps des Arachnides est généralement divisé en deux parties: le céphalothorax et l'abdomen. Dans la plupart des cas, le céphalothorax porte six paires d'appendices: une paire de chélicères (pinces déchirant la nourriture chez les acariens, avec crochets venimeux chez les araignées), une paire de pédipalpes et quatre paires de pattes locomotrices. Les Arachnides n'ont jamais d'antennes comme les insectes (Mailleux, 2007).

VI.2.2.1. les acariens

Se distinguent facilement des autres arachnides, dont le corps est divisé en deux parties distinctes : le céphalothorax et l'opistosome, nettement segmenté (Mailleux, 2007).

Le cycle de développement, de l'œuf à l'adulte comporte généralement un stade larvaire à 6 pattes et 2 ou 3 nymphaux à 8 pattes. Les larves et les nymphes sont généralement semblables aux adultes mais de tailles inférieures et sexuellement immatures (David, 2002).

Les acariens du sol sont des consommateurs très actifs de débris végétaux. Dont certains sont des phytosaprophages comme les Oribates qui consomment une quantité de litière qui peut atteindre environ le cinquième de leur propre poids. D'autres sont prédateurs et consomment des Nématodes, des Collemboles et des larves d'insectes (Davet, 1996; Coineau, 1974 in Lembrouk, 2006).

IV.2.2.2. les araignées

Les araignées sont des arthropodes de la classe des arachnides, ils ont huit pattes et des yeux simples, sans ailes ni antennes. Se sont des prédateurs qui se nourrissent exclusivement de proie vivante qu'elle chasse soit à l'affût. Comme tous les arachnides, ils n'absorbent que des liquides (Gobat, 2010).

La grande sensibilité des araignées aux changements de structure du milieu ont fait d'elles des espèces indicatrices fines de l'évolution des milieux (Alvarez et *al.*, 2002).

IV.2.3. Les insectes

C'est un groupe d'arthropodes dotés de trois paires de pattes. On en connaît à l'heure actuelle plus d'un million d'espèces, ce qui équivaut aux quarts du monde animal recensé. Ils appartiennent à l'embranchement des Arthropodes, sous embranchement des Antennates ou Mandibulates classé en 42 ordres dont les 4 ordres, présentés ci-dessous, intervenant plus spécialement dans le sol : les Collemboles, les Diptères, les Coléoptères et les Hyménoptères (Freyssinel, 2007).

IV.2.3.1. Les Collemboles

Les Collemboles sont des arthropodes les plus nombreux, par espèce et par individus dans le sol après les Acariens (Ait mouloud, 2011).

Se sont des microarthropodes de petite taille (moins de 1mm) à peine visible à l'œil nu et les mieux représentés dans le sol, ils sont présenté principalement en terrains humides (Beaumont et Cassieu , 2000).

Leurs couleur est variable, bleu, brun, violet, se nourrissent surtout de bactéries, d'algues, de filaments et de spores de champignons, et consomment aussi les débris accumulés à la surface du sol (Davet, 1996).

Les Collemboles auraient évolués dans des climats frais, plusieurs espèces résistent bien au froid et sont capables de vivre à des températures très basses. La plus part des Collemboles vivent dans des milieux humides (Ait mouloud, 2011).

Ils jouent un rôle très important dans la restitution au sol de matière organique, dans la dégradation de la litière, certains Collemboles peuvent même servir d'indicateurs de fertilité,

ils sont la proie de plusieurs prédateurs : Araignées, acariens et divers fourmis (Bachelier, 1978 ; Deprince, 2003).

IV.2.3.2. les coléoptères

Les Coléoptères est l'ordre le plus grand du règne animal avec des dimensions de 0.25mm à 10 cm. (Pihan, 1986 in Lmebrouk, 2006).

Une vingtaine de familles est représentée dans le sol, avec des adaptations très variables aux conditions de ce dernier, tant au niveau de la morphologie, que par rapport au régime alimentaire (Freyssinel, 2007).

Les taupins adultes se nourrissent d'organes de fleurs ainsi que de feuilles. Ce sont leurs larves, les vers fils de fer, qui sont responsables des dégâts aux cultures. Tant que leur taille ne dépasse pas 5 mm, ils ne causent des dégâts que s'ils sont en grand nombre. Ensuite, les jeunes larves peuvent causer des dégâts considérables sur les semis et les jeunes plantes en attaquant le système racinaire. Le cycle de vie des taupins, de l'œuf à l'adulte en passant par plusieurs stades larvaires, dure deux à cinq ans selon l'espèce, le climat et la disponibilité de nourriture (Simone et *al.*, 2011).

IV.2.3.3. les hyménoptères

Ordre d'insectes contenant plus de cent mille espèces, en particulier les fourmis, les abeilles, les guêpes, c'est l'un des ordres les plus importants après celui des coléoptères par le nombre d'espèce qu'il renferme et la masse d'individus qui le composent (Aouar, 2009).

Les fourmis sont des insectes dont les deux paires d'ailes sont membraneuses et fines. Selon les espèces les fourmis sont herbivores, carnivores ou parfois éleveuses de puceron. Leurs abondance rend les sols acides par la sécrétion de l'acide formique (Veron, 2002).

Les fourmis remuent beaucoup de terre pour aménager leurs nids souterrains, parfois beaucoup plus que les vers de terre, surtout dans les régions tropicales. Elles sont également responsables de la dispersion de nombreuses graines qu'elles perdent en les transportant dans leurs nids. Elles aident ainsi à l'installation de la végétation sur les sols nus.

IV.2.4. Les Myriapodes

Les myriapodes sont des arthropodes comportant un grand nombre de segments corporels sur chacun des quels sont implantés un ou deux appendices locomoteurs. C'est la

raison pour laquelle les myriapodes sont appelés mille pattes. La classification des myriapodes est basée sur la position de l'orifice génital. (Gobat et *al.*, 2010).

IV.2.5. Les annélides

Les vers de terre sont des invertébrés appartenant à l'embranchement des annélides avec un corps segmenté et une série d'anneaux caractéristiques de leur principale évolution. Ils appartiennent à l'ordre des Oligochètes avec la famille des Lombricidés comme la plus importante et probablement la plus récente en terme évolutif (Edwards et Bolhen, 1996; Girard, 2000 in Morin, 2002).

Les vers de terre se nourrissent essentiellement de racines mortes et d'humus. Ils décomposent la matière organique, aident des bactéries et des champignons conduisant à la libération d'éléments simples tels que l'azote, phosphore et le potassium directement assimilables par les plantes (Lavelle et *al.*, 2003).

Les annélides peuvent s'enfoncer jusqu'à 1 mètre de profondeur selon la qualité des couches meubles et la saison (Handre, 2006).

Les vers de terre, eux, ingèrent sélectivement, des quantités de matières organiques et minérales en formant un réseau important de galeries plus ou moins profondes. On a ainsi estimé entre 800 et 1 250 tonnes de terre sèche par hectare, la quantité qui passe à travers leur tube digestif durant une année (Deprince, 2003).

Les vers de terre sont les ingénieurs de l'écosystème. Leur première action est l'enfouissement et la fragmentation de la matière organique, permettant sa dégradation. Ensuite, les vers de terre incorporent la matière organique dans les «cabanes». Les lombriciens ont la capacité de transférer la matière organique tout en créant des galeries. Les parois de ces galeries présentent des teneurs en carbone et azote supérieures au reste du sol. Ces éléments constituent une augmentation des ressources alimentaires pour les microbes. L'activité microbienne est donc supérieure dans les galeries de lombriciens, permettant une augmentation de la minéralisation et de l'oxygénation. Ces processus impliquent une meilleure nutrition des plantes. Ainsi, les racelles des plantes sont capables de coloniser d'anciennes galeries pour récupérer les éléments nutritifs (Marjorie, 2014).

IV.2.6. les gastéropodes

Les Gastéropodes sont des Mollusques présentant un corps mou, non segmenté et complètement dépourvu d'appendices articulés, qui se divise en trois parties : la tête, bien différenciée, la masse viscérale et le pied, organe caractéristique de ces gastéropodes. Musculeux et ventral, il sert à la locomotion. Les zones humides abritent également de nombreuses espèces généralement spécialisées. Les zones pelousaires ou rocailleuses accueillent également des espèces bien particulières et caractéristiques du milieu. La faible mobilité des mollusques et leur grande dépendance aux conditions du microclimat en font de bons indicateurs de l'histoire d'un milieu et de son évolution (Karas, 2009).

IV.3. Classification fonctionnelle de la macrofaune

La faune des sols peut être divisée en trois grands groupes jouant des rôles différents dans l'écosystème Lavelle et al. (1991).

IV.3.1. Les épigés

Qui vivent dans la litière déposée à la surface du sol et s'en nourrissent. Ce sont essentiellement des arthropodes (Diplopedes, Isopodes, larves de Diptères, Coléoptères) et des vers de terre de petite taille et pigmentés.

IV.3.2. Les endogés

Vivant dans le sol et se nourrissant de matière organique ou de racines, mortes ou vivantes. Ce sont essentiellement des termites humivores et des vers de terre non pigmentés de tailles et de formes variables.

IV.3.3. Les anéciques

Vivent dans le sol, à l'abri de galeries ou de nids qu'ils ont eux-mêmes construits, mais ils se nourrissent de litière qu'ils vont prélever à la surface. Ce sont essentiellement des vers de terre et surtout la grande majorité des termites.

V. Action de la faune sur le sol

L'action de la faune sur le sol est de nature différente très variable selon les sols et les groupes fauniques considérés (Bachelier, 1978).

Trois formes d'action mécanique, chimique et biologique caractérisent les animaux du sol (Gobat et *al.*, 2010).

V.1. Action mécanique

L'action physique des animaux dans le sol est corrélée à leur taille, les microarthropodes ne creusent pas, ils ne font qu'utiliser les pores naturels et les passages ménagers par des plus grosses espèces. Les insectes, myriapodes, les animaux participent au maintien de la porosité du sol c'est un facteur essentiel pour la survie de la pédofaune mais aussi pour le développement du système racinaire de la plante. Parmi les invertébrés du sol, les fourmis déploient une activité particulièrement dans la construction des fourmilières par un mélange de matière organique et minérale (Deprince, 2003 ; Meurthe Et Moselle, 2007).

V.2. Action chimique

La faune influence les caractéristiques chimiques des sols par des voies très variées. L'effet le plus net est la modification de la nourriture durant son passage à travers la chaîne alimentaire (Gobat et al, 2010).

Les excrétes rejetés par la faune modifient également de manière directe la composition chimique du sol, en effet les matières organiques contenues dans les déjections est plus facilement dégradable que les autres débris végétaux (Soltner, 2003 ; Deprince, 2003).

V.3. Action biologique

Bachelier 1978, a montré que la faune a une action marquée sur le sol et ses diverses caractéristiques biologiques. Les effets de la prédation sur la population proie sont importants puisqu'elle met ces dernières en équilibre avec les ressources disponibles comme la nourriture et les abris.

Le comportement des organismes de la faune du sol répond aux contraintes imposées dans le sol .L'activité biologique d'un sol est le résultat des interactions entre les différents organismes. Elle se traduit par une variation de l'activité ou de la densité de la communauté. Elle tend à installer un certain équilibre pour un fonctionnement optimal et durable des processus en cours. Parmi eux on notera la compétition, l'effet des prédateurs sur les ravageurs. On notera également le rôle joué par la pédofaune pour la dissémination des spores et bactéries. Cette propagation s'effectue soit par des crottes dispersées dans le sol soit par transport sur le corps des animaux (Metral, 2007).

La qualité biologique des sols fait référence à l'abondance, la diversité et l'activité des organismes vivants qui participent au fonctionnement du sol. Plus précisément, dans une perspective agronomique, on peut considérer que la qualité biologique des sols est formée de quatre composantes : la fertilité, l'état sanitaire, les externalités et la résilience (Chaussod, 1996).

VI. Rôle écologique

Les collemboles comptent parmi les insectes les plus communs et nombreux dans le sol. Ils jouent des rôles cruciaux dans cet écosystème en décomposant la matière organique, tant qu'animale que végétale. Ils y constituent également une source de nourriture pour de nombreux petits animaux. Les acariens se nourrissent aussi des œufs de collemboles. Ces insectes exercent de plus un certain contrôle des populations des champignons, de bactéries et de nématodes dans le sol (German, 2001).

L'activité des vers de terre et de l'ensemble de la macrofaune, efficace dans la protection des plantes contre les parasites, garantit également le bon fonctionnement des sols, notamment en termes de séquestration du carbone, de stockage de l'eau et de maintien d'une grande diversité d'espèces microscopiques. (Walter ; 2002, Guillaume; 2005).

VII. l'orge

Les graminées constituent une grande famille définie par les caractères de l'appareil végétatif et par une structure florale particulière très homogène dans son organisation. La classification utilise la grande diversité des caractères de l'épillet, de la fleur ou du caryopse (Lapeyronie, 1982).

L'orge fait partie des cultures céréalières les plus anciennes. Elles appartiennent à la grande famille des poaceae, à la tribu des triticeae, au genre hordeum et à l'espèce vulgare (nilen et Ulrich, 1993).

A l'échelle mondiale la production de l'orge se divise en trois grands secteurs : l'alimentation humaine et animale, l'industrie brassicole et maltifère, ainsi que le secteur de la semence (Poehlman, 1985).

VII. 1. Morphologie de la plante

L'orge commune (*Hordeum vulgare*) est une céréale à paille. Le genre *Hordeum* auquel l'orge cultivé appartient, se caractérise par des épillets uniflores groupés par trois, avec un centre flanqué de deux latéraux, disposés alternativement à chaque étage du rachis (Bothmer et Jacobsen, 1985). Les épillets latéraux peuvent se développer normalement et ainsi conférer la morphologie orge à 6 rangs ou être stérile, réduit à des vestiges et caractériser les orges a **2** ou **4** rangs (Bothmer et *al.*, 1995).

VII.1.1. Système racinaire

Les longues racines atteignent à peine 1,20m de profondeur. Ses racines sont moins fasciculées que celles de l'avoine (Soltner, 1990).

Chez l'orge il se forme jusqu'à huit racines pratiquement équivalentes sous l'axe hypocotylé et libre dans la cavité commune de la coléorhize. La part prise par le système racinaire séminal n'est pas négligeable pour les espèces annuelles dressées. (Lapeyronie, 1982).

VII.1.2. Tige et écorce

La tige de l'orge est robuste et dressée.

VII.1.3. Feuilles

Les feuilles sont planes et rudes, ligule membraneuse est courte de moins de 3 mm. Oreillettes en crochet bien développées comme celles du blé. . Elles sont un peu plus étroites et de couleur vert clair lorsqu'elles sont jeunes. À la jonction du limbe et de la gaine, on trouve une courte ligule dentée appliquée contre la tige.

VII.1.4. Inflorescence

Comporte un épi anguleux formé d'épillets imbriqués en défaisant délicatement l'épi. On trouve trois épillets à chacun des nœuds pour l'orge à 6 rangs (on trouverait un seul épillet par nœud sur l'orge à 2 rangs).

Les épillets tous fertiles sont aristés (avec des arêtes) et comportent une seule fleur. A la base de chaque épillet se trouvent deux glumes étroites minces et terminées par une longue pointe.

Les glumes sont linéaires atténuées en arêtes. Les glumelles sont presque égales et possèdent des arêtes dressées longues de 10 à 20 cm.

VII.1.5. Fleurs

La fleur d'orge un verticille est constituée de trois anthères, chacune constituée d'une anthère fixée au filet, et d'un ovaire surmonté de deux stigmates plumeux (JUSTEN, 1992 ; VON BOYHMER et al. 1995).

VII.1.6. Fruits

Le grain d'orge a une forme généralement ovale et il se termine par une petite face droite, la base, côté où il est attaché à l'épi.

On distingue une face dorsale bombée et une face verticale traversée par un sillon médian.

On trouve de l'extérieur vers l'intérieur d'un grain d'orge :

- " Une écorce formée par les deux glumelles
- " Une amande à texture farineuse
- " Un embryon composé d'une plumule, d'une tigelle et d'une radicule

VII.2. Exigences climatique

VII.2.1. température

- Température favorable pour la germination : 20 à 25°
- Lors de la floraison : environ 16°C
- Lors de la maturation : 20°C

VII.2.2. Pluviométrie

- Environ 500 mm d'eau pendant son cycle végétatif
- Plante peu sensible à la sécheresse

VII.3. Exigences édaphiques

L'orge préfère les sols calcaires légers et aérés ou les sols frais de rizière (en contre saison), de préférence de bas de pente avec un pH voisin de la neutralité.

La parcelle doit être soignée pour favoriser une bonne implantation et permettre la levée la plus homogène possible et le développement le plus rapide possible de la plante.

L'orge étant sensible aux conditions d'implantation, il faut éviter les obstacles à l'enracinement. (Comte, 2012)

VII.3.1. Semis

Les semences doivent être triées et traitées provenant d'une variété pure ayant une faculté germinative d'au moins 95%.

Le semis se fait en ligne espacée de 15 à 18 cm en terrain moyen et en terrain riche 18 à 22 cm en suivant une ligne continue pour la profondeur elle est de 3 à 4 cm.

VII.3.2. Cycle de vie

Le cycle de développement est une série d'étapes séparées par des stades repérés, permettant de diviser en deux périodes la vie de l'orge (Soltner, 1999) :

La période végétative : durant laquelle la plante ne différencie que des feuilles et des racines.

La période reproductrice : dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain.

VII.4. Position systématique

La nomenclature adaptée est la suivante (Jestin, 1992) :

Règne :	Plantées
Embranchement :	Spermaphytes
Sous embranchement :	Angiospermes
Classe :	Monocotylédone
Ordre :	Glumiforale
Famille :	Poacées
Sous famille :	Festucoidées
Genre :	<i>Hordeum</i>
Espèce :	<i>hordeum vulgare L.</i>

VIII. le trèfle violet

La famille des légumineuses est très diverse avec 3 sous familles: Mimosoideae, Caesalpinioideae, et Papilionoideae (Doyle et Luckow 2003) et compte environ 20.000 espèces (Gepts *et al.* 2005).

Cette diversité offre des possibilités énormes d'exploitation. Ainsi les légumineuses, par leurs intérêts agronomique, alimentaire et écologique, se trouvent actuellement au centre des préoccupations des instances internationales. Leur importance est due entre autres à leur contribution, chaque année, à la fixation d'environ 65 millions de tonnes d'azote atmosphérique intégrés dans la biosphère (Graham et Vance 2003).

Le trèfle violet (*Trifolium pratense*) est une légumineuse de pérennité courte, allogame, à pollinisation entomophile (par les insectes), il est cultivé essentiellement en fourrage, en association avec des graminées. Il peut aussi être utilisé comme couvert pour les jachères, seul ou associé. La jeune plante de trèfle violet, surtout la jeune plante tétraploïde, a une croissance assez rapide, une certaine force de compétition et possède une certaine aptitude à croître en conditions d'éclairage limité (J picard, 2002).

Les légumineuses sont donc à la fois un support de travail fondamental et un matériel pour l'amélioration des plantes cultivées. Elles permettent, à la fois, d'enrichir le sol en matière organique et d'épargner les engrais azotés par l'exploitation d'un processus naturel. Une importance considérable doit donc être attribuée au développement des possibilités offertes par cette association symbiotique fixatrice d'azote *Rhizobium*- légumineuse.

VIII.1. Morphologie

VIII.1.1. Système racinaire

Se compose d'une racine pivotante mais avec de nombreuses racines adventices partant du collet. Comme chez toute les légumineuses, Les bactéries de la famille des rhizobiacées peuvent infecter les racines de la plante entraînant la formation de structures appelés nodosités ou nodules. Par ces nodules, la plante hôte (la légumineuse) offre un micro habitat exceptionnellement favorable à la bactérie tout en lui procurant des substrats carbonés provenant de la photosynthèse. Le processus de la fixation, lui-même, consiste en la réduction de l'azote atmosphérique N₂ sous forme ammoniacale. Cette réaction est catalysée par un complexe enzymatique appelé Nitrogénase d'origine bactérienne (Downie, 2005).

VIII.1.2. La tige

Le trèfle violet possède une tige ramifiée de trois à cinq entrenœuds provient du développement des bourgeons à l'aisselle des feuilles en rosette.

VIII.1.3. Feuilles

Elles ont des folioles oblongues entières à peine denticulées dans la partie supérieure présentant une bande blanchâtre en V à leur base

VIII.1.4. Fleurs

Les fleurs sont roses tirant sur le violet formant des capitules globuleux. La gousse ovale contient une seule graine qui reste à maturité la plus souvent entouré de calice persistant. Le trèfle violet fleurissent de mai à septembre.

VIII.2. Exigences climatiques

Elle résiste au froid. Cette résistance est liée à des exigences photopériodiques qui conduisent certaines variétés à entrer précocement en repos hivernal.

VIII.3. Exigences édaphiques

Le trèfle violet est une espèce assez souple, qui s'accommode des sols acides jusqu'à un pH de 5,5 (optimum 6 à 7,5). Il préfère les terres relativement bien drainées. Le trèfle violet porte-graine réussit bien en sol à bonne réserve utile, où la pousse végétative est régulière et sans excès. En sol limoneux sableux et séchant, le potentiel grainier est affecté.

La culture exige une préparation soignée du sol derrière un labour préliminaire et une bonne fertilisation.

Semence : on utilise parfois la graine non débourrée mais la semence commerciale est la graine nue. Elle est généralement bicolore (jaune et violacée).

VIII.4. Cycle de développement

Le cycle de développement du trèfle violet est conditionné avant tout par la longueur du jour. C'est, comme la luzerne, une plante alternative (il fleurit l'année du semis, mais les variétés très tardives atteignent trop tard le stade réceptif pour y parvenir) et remontante (il fleurit plusieurs fois par an avec la même restriction que ci-dessus).

La réponse différentielle des variétés à la longueur du jour détermine, dans la mesure où la température le permet, le départ en végétation et la date de floraison. Cette même réponse détermine l'entrée en repos hivernal, nécessaire à l'obtention d'une bonne résistance au froid. La période de végétation est donc d'autant plus grande que la variété est plus précoce. Il en est de même du nombre de coupes.

La croissance est souvent ralentie en été, parfois par un excès de température (30-35 °C) mais plus généralement par un déficit d'alimentation en eau. Il s'ensuit un déficit de production qui peut être important (J picard, 2002).

VIII.5. Position systématique

Règne :	Plantae
Sous-règne :	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre :	Fabales
Famille :	Fabaceae
Genre :	<i>Trifolium</i>
Espèce :	<i>Trifolium pratense</i>

IX. Relation faune du sol et culture

Les espèces peuvent présenter des différences de vitesse de croissance ainsi que des besoins nutritionnels constatés au cours du temps. Ces caractéristiques influencent l'occupation de l'espace par les racines ainsi que l'intensité des processus rhizosphériques (Betencourt, 2012).

La croissance des plantes repose sur différentes propriétés physiques chimiques et biologiques du sol qui sont en partie contrôlées par l'activité de la faune du sol (Bruand, 2009).

La diversité liée à la faune et à la flore présente dans l'agroécosystème a des effets bénéfiques pour la plante et peut constituer un élément clé dans la qualité biologique des sols (Amsallem et al, 2012).

Une grande diversité végétale augmente l'hétérogénéité de l'organisation spatiale créent ainsi des microhabitats pour la faune du sol (Mathieu, 2004).

Les résidus des plantes ont en soi peu de valeur nutritive dans la forme dans laquelle ils retournent au sol. Les organismes du sol qu'ils soient grands (macro-organismes) ou petit (micro-organismes), se nourrissent toute fois de ces résidus et les décomposent dans un processus continu.

L'augmentation de la macroporosité joue un rôle direct sur le transfert d'eau et des solutés. Les parois des galeries sont également plus riches en carbone et en azote ceci résulte d'un effet direct des vers (anécique) qui enrichit les galeries par l'enfouissement de la matière organique en profondeur et par la production de composés organiques (Berner et *al.*, 2012).

Plus de nonante pour cent galeries sont colonisées par les racines des plantes car elles leur permettent de pénétrer sans résistance dans la couche profonde du sol et d'y trouver des conditions de croissance idéales (Luckas, 2013).

L'effet des décomposeurs de litière (épigés, acariens, collemboles), sur la respiration du sol n'est visible que lorsque le milieu est pauvre en nutriment (Petersen, 1994). Cette décomposition sert à inoculer et réguler les populations microbiennes de la litière (Jegou et *al.*, 2001).

Les myriapodes sont intéressantes de fait que, selon leur type morphologique et biologique sont plus ou moins adaptés à l'excès d'eau, à la sécheresse et reflètent le régime hydrique du sol où ils demeurent (Deprince, 2003)

La minéralisation de l'azote peut démunie avec une communauté complexe de mésofaune présentant des prédateurs par rapport à une communauté n'en présentant pas (Cortet et *al.*, 2002).

Pour les espèces humivores. 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 microprédateurs 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. Les communautés de macroinvertébrés du sol peuvent contrôler à un certain niveau les maladies des plantes dans un agroécosystème (Morón-Ríos et *al.*, 2010).

Les systèmes de culture assurant une couverture permanente et retournant systématiquement les résidus post-récolte au sol favorisent la prolifération des invertébrés.

Ces systèmes rendent alors la nourriture disponible et créent un pédoclimat propice au développement des animaux du sol. Par ailleurs, la macrofaune est plus abondante et diversifiée en culture associée qu'en monoculture (Lal, 1988 in Nadama, 2006).

Il semble plus généralement que la résistance des plantes aux pathogènes pourrait être stimulée indirectement par la présence d'une faune d'invertébrés diverses et abondantes dans le sol (Lavelle et *al.*, 2003).

I. Situation géographique

Nous avons travaillé dans les sols de l'institut de technologie moyen agricole spécialisé (ITMAS), qui se trouve dans la commune de Boukhalfa, située au centre de la wilaya de Tizi-Ouzou (Figure1). Elle 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 par 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 720m².



Figure 1: situation géographique de l'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 avec des températures qui varient entre 5.7 avec une 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
Coordonnées	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 I : données climatiques de l'ITMAS (Boudiaf Nait Kaci et *al.*, 2014)

III. Echantillonnage

III.1. Choix de la station

L'habitat des organismes vivants du sol est limité à la couche végétale des sols naturels ou à la couche arable des sols cultivés. L'existence d'une grande variété d'espèces représentatives de la faune ; en plus de l'hétérogénéité des biotopes, sont les problèmes principaux qui se posent sur le terrain ; donc il faut délimiter un endroit précis, caractéristique du biotope, que l'on appellera station. Selon Vannier, (1971), la station est choisie en fonction de quatre critères d'homogénéité à savoir, homogénéité pédologique, floristique, topographique et climatique.

III.2. Choix de la période d'échantillonnage

Plusieurs facteurs écologiques ont une influence sur la répartition et l'abondance de la faune dans le sol. L'eau est l'un de ces facteurs qui sont considérés comme importants dans les écosystèmes terrestres. Son cycle naturel traverse obligatoirement l'écosystème édaphique, c'est aussi un élément vital pour tous les organismes vivants qu'ils soient végétaux ou

animaux. (Vannier, 1971). Certains ne sont affectés par le dessèchement de leurs milieux qu'à partir d'un seuil critique de son taux d'humidité, constant pour chaque groupe d'espèces. De ce fait l'abondance de la faune du sol varie le plus souvent en fonction des saisons.

IV. Matériels utilisés

IV.1. Prélèvements des sols et des invertébrés

Le prélèvement des invertébrés des sols, est effectué selon le principe de la méthode de Coineau, (1974). Nous avons modifié le volume du quadra compte tenue de l'abondance et de la taille des invertébrés à considérer. . Le quadra utilisé est de 20x20x10 cm³. Nous avons prélevé les échantillons sur deux parcelles contigües, qui comportent deux cultures différents, la première est occupée par l'orge et la deuxième par le trèfle. Vue la forme rectangulaire des parcelles nous avons opté pour l'échantillonnage en zigzag pour choisir les points de prélèvements des sols et des invertébrés.

Les différents accessoires utilisés sur terrain :



IV.2. Période d'échantillonnage

La période optimale d'échantillonnage varie selon les plantes cultivées et en fonction de leur phénologie et des objectifs de l'échantillonnage. Il est important de savoir que La répartition et l'abondance de la faune du sol dans un agrosystème est sous l'influence de plusieurs facteurs écologiques et phytotechniques.

Il est connu que l'étude biologique d'un milieu consiste à analyser une fraction représentative de la réalité des communautés présentes dans ce milieu. Elle met en œuvre, à cette fin, de nombreuses techniques d'échantillonnages et d'analyses dont le résultat ne prend de valeur qu'en comparaison avec un autre système, un autre milieu, ou une autre période (Freyssinel, 2007). Pour un dénombrement et une identification des invertébrés du sol, nous avons choisi la période hivernale à savoir Avril 2015 et la période estivale en Mai 2015. L'intérêt principal est de voir la différence entre les sols sous une légumineuse et une graminée, avec un effet saison.

IV.3. Récolte des échantillons de sol

Dans le cadre de notre travail, l'échantillonnage est aléatoire et s'est fait à l'aide d'un quadra avec un niveau d'échantillonnage de 0 à 20 cm (Figure 2).

A l'aide d'une pelle, nous avons ramassé les échantillons de sol tout en récoltant la pédofaune. Chaque échantillon est mis dans son propre sac afin d'assurer son transport. (Figure 2 et 3)



Figure 2 : quadra d'échantillonnage



Figure 3 : prélèvement du sol



Figure 4 : collecte des échantillons.

V. Extraction des invertébrés du sol

Pour l'extraction des invertébrés contenus dans les échantillons de sol prélevés, nous avons utilisé la méthode de Berlese-Tullgren qui a pour principe de déclencher la fuite des animaux en les stimulant par : l'élévation de la température et l'éclairage qui provoquent leur dessèchement (Pesson, 1971). Cette méthode consiste à placer un échantillon de terre sur un tamis à large mailles posé sur un entonnoir qui lui-même est placé sur un Erlèn Meyer contenant de l'alcool à 70° ou du formol aldéhyde à 35%. Pour accélérer la fuite des animaux nous mettons une lampe de 70 watts à une distance de 20 cm au-dessus de l'entonnoir et laisser agir 48 heures pour récolter toute la faune qui existe dans l'échantillon du sol, migrée vers le bas de l'Arène Meyer (Gobat et *al.*, 2010) (.Figure 5).



Figure 5 : appareil de Berlese-Tullgren.

V. 1. Tri et dénombrement

Il s'agit de trier les résultats de chaque niveau et de chaque échantillon à l'aide d'une pince dans des tubes à essai, contenant de l'alcool à 70° comme milieu fixateur. Pour les arthropodes et les larves d'insectes, une loupe binoculaire est indispensable pour pouvoir les différencier (Figure 6), les autres animaux sont facilement reconnaissables à l'œil nu. A la fin et avec une pince, nous rassemblons chaque groupe dans une boîte de pétri, puis nous procédons au comptage.

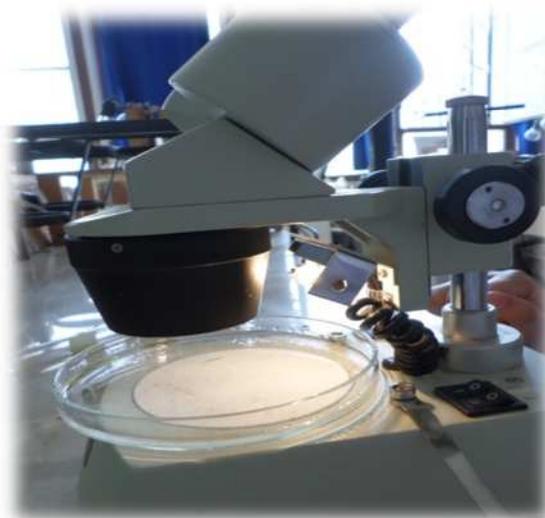


Figure 6 : la loupe binoculaire G 40



Figure 7 : matériels utilisés au laboratoire

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, le nombre de pattes, la forme des yeux, parmi eux : Bachelier, (1978) ; Gobat et *al.*, (2010) (annexes1).

L'extraction des micro-organismes du sol consiste à les séparer de leur substrat. Il existe plusieurs méthodes d'extraction, mais dans notre étude, nous avons opté pour l'extraction par voie sèche, c'est la méthode classique de Berlese-Tullgren. C'est une méthode sélective par laquelle les microarthropodes (Acaréens, collembolés, et autres larves de petits insectes ptérygotes) sont récoltés sans l'intervention d'un opérateur (Amri,2006).la technique consiste à modifier les conditions de vie des micro-organismes par l'utilisation d'agents thermodynamique :l'éclairement, l'élévation de la température et le dessèchement incitant les animaux à quitter l'échantillon, grâce à leur tactisme. Le principe de cette technique est de placer un volume de terre Sur un tamis à large mailles posé sur un entonnoir avec une ouverture de 27cm de diamètre qui oriente la faune dans le pilulier contenant de l'alcool éthylique à 75°ou elle est piégée .

V.2. Conservation des échantillons

- ✓ Avant l'emplacement de l'appareil de Berlèse, toute la macrofaune visible à l'œil nu est prélevée et mise dans des flacons contenant de l'alcool conservateur à 70°.

- ✓ Pour une bonne conservation des échantillons, nous utilisons généralement de l'alcool à 70° pour la majorité des microarthropodes.
- ✓ Il faut étiqueter les flacons contenant les échantillons de faune récoltée afin de faciliter l'identification tout en indiquant la station, la date de l'échantillonnage et le numéro de l'échantillon.



Figure 8: conservation des échantillons.

VI. Caractérisation des sols

Les caractéristiques physiques et chimiques des sols sont déterminées par les méthodes standards d'analyses en pédologie (Jackson, 1967).

VII. Analyse statistique

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 faune durant deux saisons (hivernale /estivale) et sous les deux cultures pour déterminer la variabilité de ces groupes en suivant les différents niveaux du sol et entre différents points selon les deux saisons en utilisant le logiciel Statbox. Les données ne sont pas paramétriques nous avons utilisés le logiciel R avec l'application du test de Kruskal-wallis. Cependant une analyse en composante principales (ACP) est faite pour mettre en relief les corrélations qui existent entre les différentes variables. Cette méthode nous permet d'une façon synthétique de mettre en évidence les interactions entre les facteurs édaphiques étudiés (taux d'argile, pH, carbone organique, le calcaire et le phosphore), et l'abondance des groupes fauniques selon les points et les niveaux et cela pendant la saison hivernale et estivale et sous les deux cultures. 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.

Les corrélations sont étudiées leur signification à savoir :

- 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. Abondance des invertébrés pendant la saison hivernale

I.1. Abondance des invertébrés sous le trèfle

Un total de 3304 invertébrés est collecté sur six points de prélèvement effectués dans une parcelle occupée par le trèfle. Dans un premier temps, la description et la classification des spécimens collectés ont permis de différencier 10 groupes faunistiques qui sont : Nématodes, Acariens, Collemboles, Myriapodes, Cloportes, Annélides, Aranéides, Coléoptères, Gastéropodes et Hyménoptères (Annexe 3).

Toutefois, l'importance de ces invertébrés dans la gestion des sols, la vie dans les sols sous les sols de la région de Kabylie est mal documentée notamment dans les sols cultivés. Cette étude regroupe les premières données concernant l'abondance des invertébrés du sol sous cultures fourragères avec un effet saisonnier.

La figure 9 indique la distribution et l'abondance des invertébrés dans les sols de l'agrosystème trèfle dans la localité de Boukhalfa. Nous remarquons que ces sols abritent plusieurs espèces animales, de taille variable et diversifiée (Figure 9).

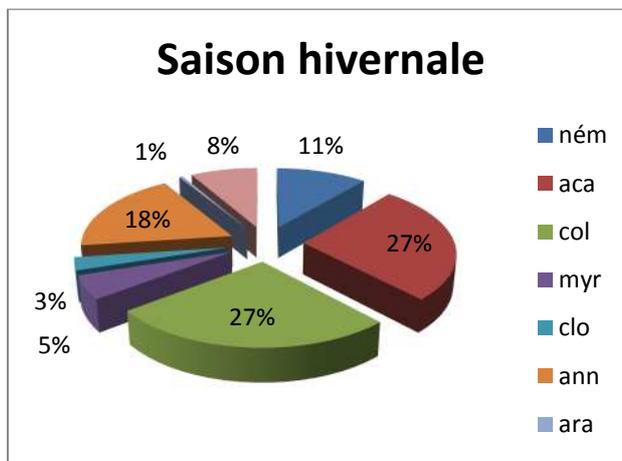


Figure 9 : abondance relative des individus recensés sous le trèfle.

L'inventaire indique une nette domination des Acariens et les Collemboles qui représentent 27% du total contre 18% pour les Annélides. Les Nématodes représentent 11% suivi des larves de Coléoptères avec 8%. Cependant, les Cloportes et les Myriapodes sont peu représentés dans cette parcelle ainsi que les Aranéides avec 3%.

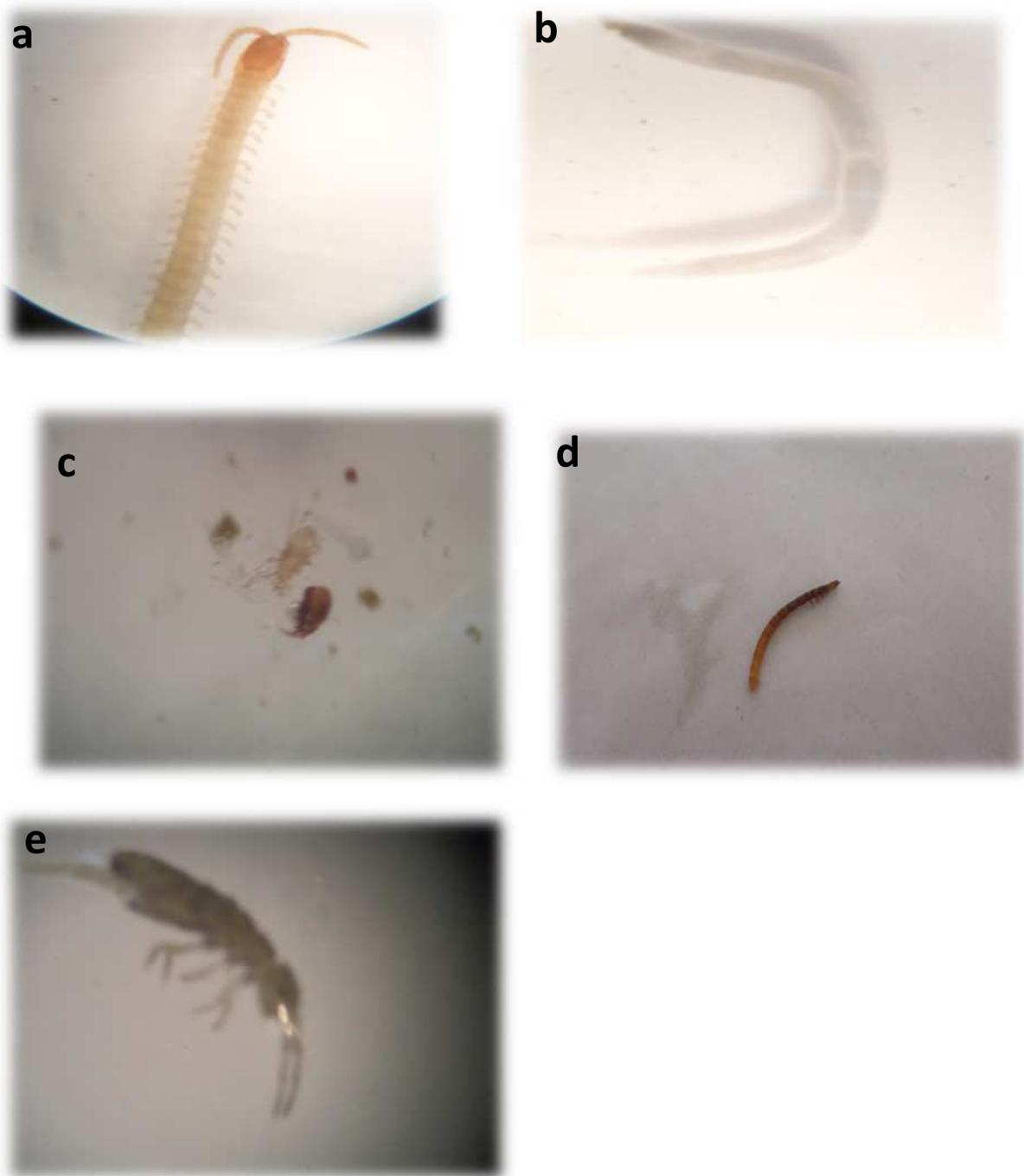


Figure 10: quelques individus de la mésofaune observée sous la loupe :

a. larve de myriapodes ; b. nématode ; c. acariens ; d. collembole ; e. larve de taupin.



Figure 11 : la macrofaune récoltée ; a. annélides ; b. cloporte ; c. gastéropodes ; d. fourmis ; e. araignée.

I.2. Abondance des invertébrés sous l'orge

Le dénombrement des invertébrés pour la parcelle occupée par l'orge révèle un total de 11008 ind/m², repartis en 7 groupes : Nématodes, Acariens, Collemboles, Cloportes, Annélides, Araignées, Coléoptères (Annexe 4).

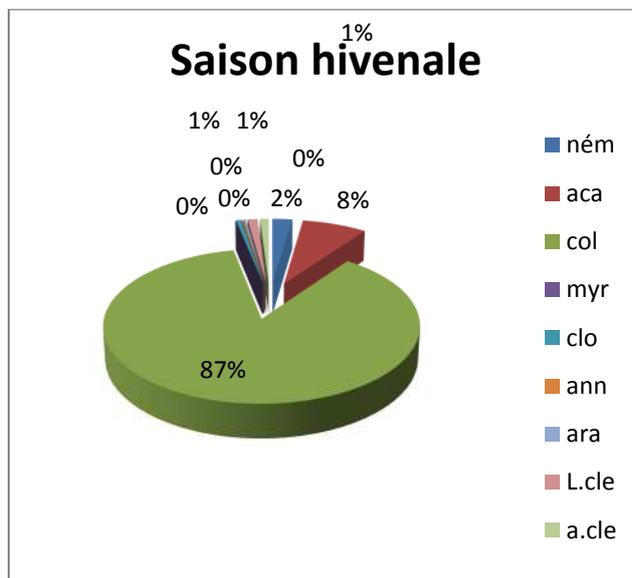


Figure 12 : abondance des invertébrés dans le sol sous l'orge.

Le groupe des Collemboles est le plus abondant avec 87%, suivi des Acariens 8%. Les Nématodes, les larves et adultes des Coléoptères sont moins abondants, par ailleurs les autres groupes sont moins abondants. Nous remarquons que les Annélides sont peu abondants avec 2% seulement de la faune totale (Figure 12).

II. Abondance des invertébrés pendant la saison estivale

II.1. Abondance des invertébrés sous trèfle

Un total de 8268 ind/m² est enregistré. Les Acariens est le groupe le plus abondant avec 32%, suivi des Hyménoptères avec 24% puis les Collemboles qui représentent 17% de la faune total prélevée sous cette culture (Annexe 5).

Les Nématodes sont moins abondants et représentent 13% de l'ensemble des invertébrés. Les autres groupes particulièrement les Gastéropodes et les Coléoptères ne sont pas abondants durant cette saison. Cependant il est important de signaler que les Annélides sont absents (Figure 13).

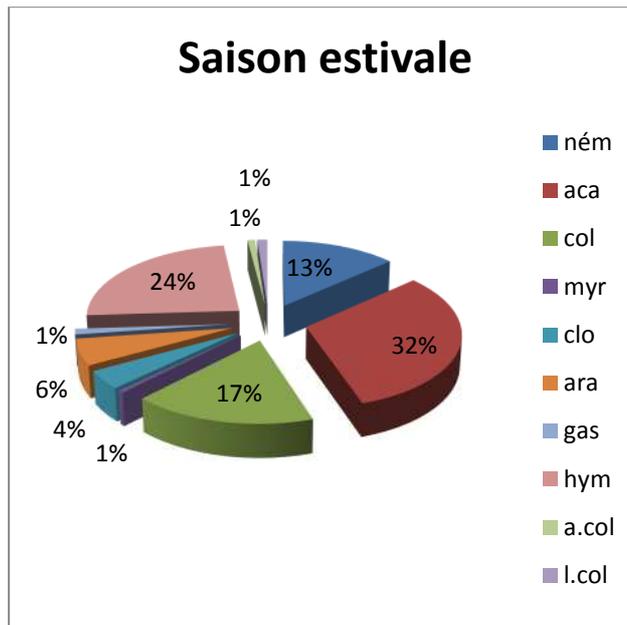


Figure 13: abondance estivale des invertébrés du sol sous le trèfle.

II.2. Abondance des invertébrés sous orge

Le dénombrement des invertébrés sous la culture d'orge a révélé des abondances de 8792 individus répartis en 9 groupes (Annexe 5).

Les Acariens est le groupe le plus abondant avec 66%, suivi des Hyménoptères avec 20%. Les Collemboles comptent 6%. Néanmoins, les autres groupes sont peu abondants avec une absence des annélides durant cette saison (Figure 14).

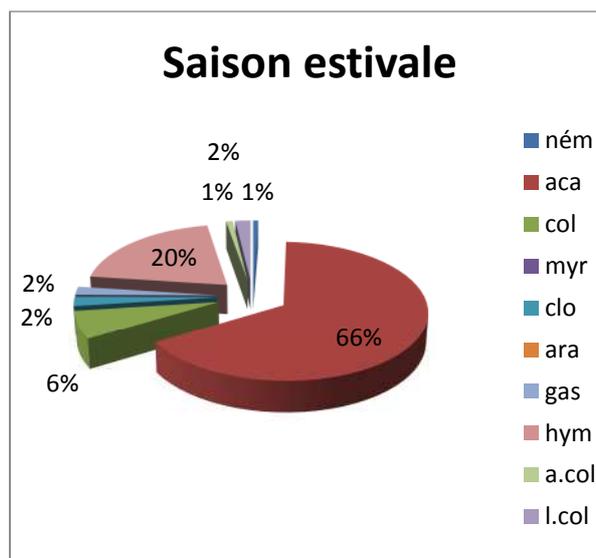


Figure 14: abondance relative des individus recensés en saison estivale.

III. Discussion des résultats

Le biofonctionnement 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 ; Gobat *et al.*, 2010).

Pour un meilleur développement des cultures fourragères, il faut prendre en considération la satisfaction de leurs exigences nutritionnelles, pédoclimatiques et biologiques. Cependant, il faut donc concevoir une approche agronomique de la faune, basée sur l'orientation vers le maintien d'un équilibre biologique.

Les travaux relatifs à la détermination de ces d'invertébrés, particulièrement la macrofaune, sous ces cultures sont très exceptionnels d'où l'intérêt de notre contribution dans la réalisation de cette partie du projet. Ainsi, l'abondance des invertébrés dans les sols étudiés, dans les niveaux explorés peut être expliquée par les espèces fourragères choisies et les saisons.

Cette étude d'impact des facteurs édaphiques sur les invertébrés montre que le facteur Niveau n'a pas une influence significative sur leur abondance et diversité. Ce qui est confirmé par l'analyse de la variance. Cependant, les deux autres facteurs : type de culture et saison agissent significativement sur le nombre total des invertébrés du sol (Figure 15).

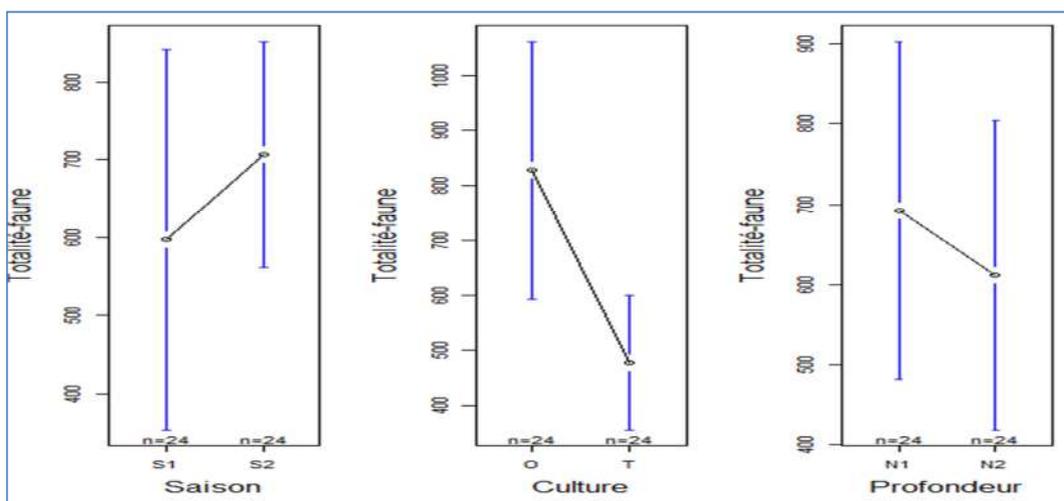


Figure 15 : effet des facteurs influençant l'abondance des invertébrés selon le R.

III.1. Effet saison sur l'abondance des invertébrés

La population du sol est nombreuse et très variable d'un sol à un autre, le poids de matière vivante à l'hectare serait en moyenne de 2,5 tonnes (1 à 5 t et plus selon l'importance des apports organiques). La faune est variée, une grande diversité d'espèces, de tailles, de modes de nutrition et de source d'énergie caractérisent les êtres vivants qui la composent. Au-delà de leur densité, biomasse ou diversité, les organismes du sol peuvent être considérés comme des bioindicateurs.

Au sein du compartiment biologique, de nombreux travaux ont mis en évidence les relations existantes entre l'état de l'écosystème sol et certains invertébrés tels que les arthropodes.

A biomasse identique, la macrofaune n'aura pas le même impact fonctionnel que la microfaune, les uns agissant au niveau du *solum* tout en modifiant physiquement leur environnement alors que les autres agissent au niveau de l'agrégat sans impact physique sur leur environnement. Toutefois, le rôle de la microfaune ou de la mésofaune n'est pas négligeable vis-à-vis de la macrofaune. Entre les taxons de ces trois classes de taille, il y a complémentarité d'impacts sur le recyclage de matières organiques mortes. L'influence de ces trois classes d'organismes, va intervenir sur les paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol (Boudiaf Nait Kaci, 2015).

En dépit de l'importance des invertébrés dans la gestion des sols, la faune des sols sous le trèfle et l'orge est mal documentée dans les régions Nord-africaine méditerranéennes. Les invertébrés du sol particulièrement les arthropodes ont rarement été étudiés particulièrement dans la région de Kabylie. Ce travail est scindé en deux parties, la première vise à évaluer l'abondance des invertébrés des sols sous deux cultures fourragères dans les sols de Boukhalfa afin de comprendre leur distribution dans les sols, en relation avec certaines propriétés physiques et chimiques de sols ; par rapport à la profondeur ; puis la relation par rapport à l'espèce sous une même lithotoposéquence.

L'objectif principal est d'apporter des éléments de connaissance sur la biodiversité des sols sous le trèfle et l'orge en relation avec l'activité racinaire. La seconde partie consiste à établir une meilleure connaissance du fonctionnement biologique des sols contigus sur les changements de leurs propriétés physiques et chimiques avec l'influence du facteur saison.

III.1.1. Effet saison sur l'abondance des invertébrés sous le trèfle

Nous constatons une différence marquée dans la composition et la répartition de divers groupes de la faune du sol recensés durant les deux saisons. Cette variation saisonnière est significativement positive avec une $p\text{-value}=0.01581$ selon le test de Kruskal-Wallis. Cela peut être expliqué par les adaptations des groupes faunistiques et leur résistance aux contraintes édaphoclimatiques.

Les effectifs sont plus élevés en été qu'en hiver, cela peut s'expliquer par les conditions climatiques ainsi que les préférences écologiques de chaque groupe. La dominance des Acariens et les Collemboles sous le trèfle durant les deux saisons est due à leurs vitesses de multiplication, à la disponibilité d'un potentiel alimentaire et à leur préférence à l'humidité.

Les Collemboles et les Acariens sont influencés par les facteurs agropédologiques tels que le pH, la teneur en carbone organique, l'hydromorphie, la diversité végétale, ainsi que la fertilisation et le travail du sol (Curry, 1978 ; West, 1984 ; Siepel, 1988 ; Loranger *et al.*, 1998 ; Schröder et Bayer, 2000).

La présence marquée des vers de terre en hiver et leur absence en été est due aux variations des taux d'humidité dans le sol (Parisi *et al.*, 2005). Cependant Menard, 2005, a montré que la population de ces derniers varie selon la région, mais aussi selon les pratiques agricoles adoptées. Leur abondance est affectée d'abord par l'abondance de la nourriture et ensuite par le positionnement de celle-ci, car plus les résidus sont enfouis, moins ils sont disponibles pour ces derniers. Il est important de signaler que les sols étudiés sont régulièrement labourés et d'une manière profonde en plus de leur texture argileuse.

Péres, (2003), a montré que les enchytréides sont sensibles majoritairement à la température et à l'état hydrique du sol, mais dans une moindre mesure par rapport à la texture du sol, à la matière organique et à la compaction et au labour (Röhrig *et al.*, 1998).

La présence des larves de Coléoptère en hiver et leur forte diminution en été peut s'expliquer par le cycle de vie de cette espèce, qui passe son stade larvaire (taupin) dans le sol puis sort en fin de saison hivernale et achève sa croissance à sa surface, ce qui confirme la présence des adultes de Coléoptères en saison hivernale (anonyme).

Les Coléoptères jouent un rôle important dans la fragmentation de la matière organique tandis que les Myriapodes se nourrissent de racines et débris végétaux et elles

rentrent dans le régime alimentaire des Coléoptères. Les Coléoptères présentent des adaptations très variables aux conditions du sol, tant au niveau de la morphologie, que par rapport au régime alimentaire (Freyssinel, 2007).

III.1.2. Effet saison sur l'abondance des invertébrés sous l'orge

Les Collembolés dominent avec une absence de plusieurs groupes en fonction de la saison, cette variation est significative. Les Hyménoptères varient significativement en fonction de la saison. Enfin nous avons les Gastéropodes et les Cloportes avec un taux faible.

L'abondance des Collembolés est supérieure en hiver qu'en été, cela peut s'expliquer par la grande biomasse de végétation en hiver qu'en été dans les agroécosystèmes (Garrett *et al*, 2001 ; Renaud *et al*, 2004). La diminution du nombre de Collembolés conduit à une diminution de la biomasse végétale particulièrement celle des racines (Jeffery *et al*, 2010).

Toutefois, la forte dominance des Acariens en saison estivale est due aux conditions pédoclimatiques du milieu. Pauli, (2011), confirme que le développement des Acariens est influencé à la fois par l'humidité relative et la température. Les conditions optimales de développement à 25°C sont à 70 à 80% d'humidité relative.

III.2. Impact du type de culture sur la variation de la faune des sols

Compte tenu de la complexité des relations entre les caractéristiques biologiques ou écologiques et la structure du peuplement et, afin d'obtenir une description plus objective possible des résultats de cette étude, en mettant l'accent sur les facteurs significatifs à l'étude qualitative classique, nous avons associé différentes méthodes d'analyses parmi lesquelles figurent le **R** et l'ACP.

La première analyse indique une variation saisonnière significative et positive de l'abondance des invertébrés en fonction du type de culture avec une p-value de 0.01294 (Figure 15).

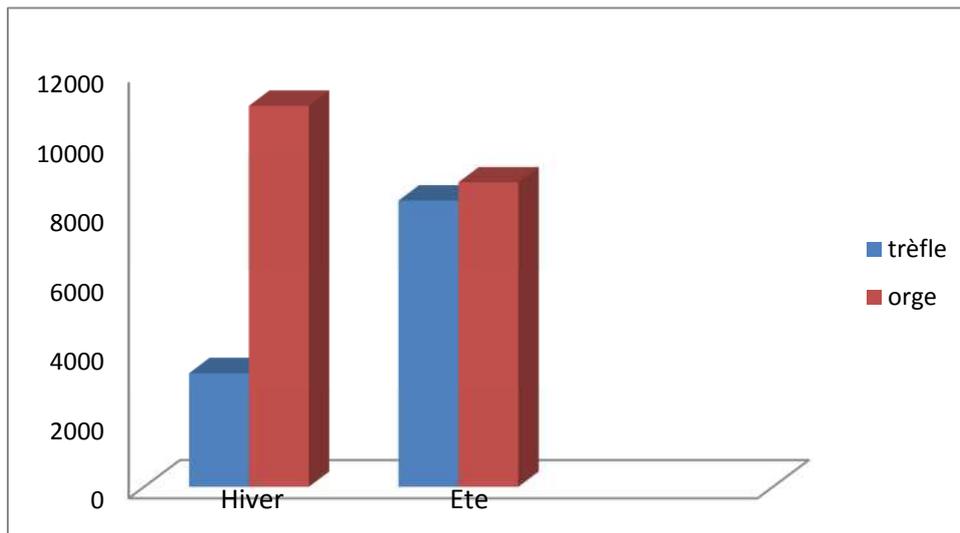


Figure 16 : effet végétation sur l'abondance des invertébrés recensés.

Debarge et *al.* (2015), ont montré que les légumineuses favorisent la biodiversité du sol. En l'occurrence, Charles et *al.*, (2012), confirment que la diversité des espèces de légumineuses cas du trèfle en particulier est large, offrant de nombreuses caractéristiques susceptibles d'être utilisées contre les adventices.

La richesse spécifique et la densité des invertébrés sont plus élevées sous les touffes de graminées et autres herbacées que sous le sol nu entre les touffes de graminées. Les espèces échantillonnées sous les touffes de graminées apparaissent plus inféodées à ce micro-habitat que celles échantillonnées sous les troncs. En conséquence, le maintien de troncs au sol dans les parcelles favorise la recolonisation du sol par des peuplements diversifiés de faune. (Grimaldi, 2010).

IV. Analyse en composante principale

Pour une meilleure approche entre les groupes de la faune et la relation entre eux et leur milieu, nous avons déterminé une ACP pour mieux distinguer l'impact des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols sur la qualité biologique des sols avec un effet saison et culture. Ainsi, la projection des variables étudiées sur le plan factoriel nous montre que les invertébrés varient différemment.

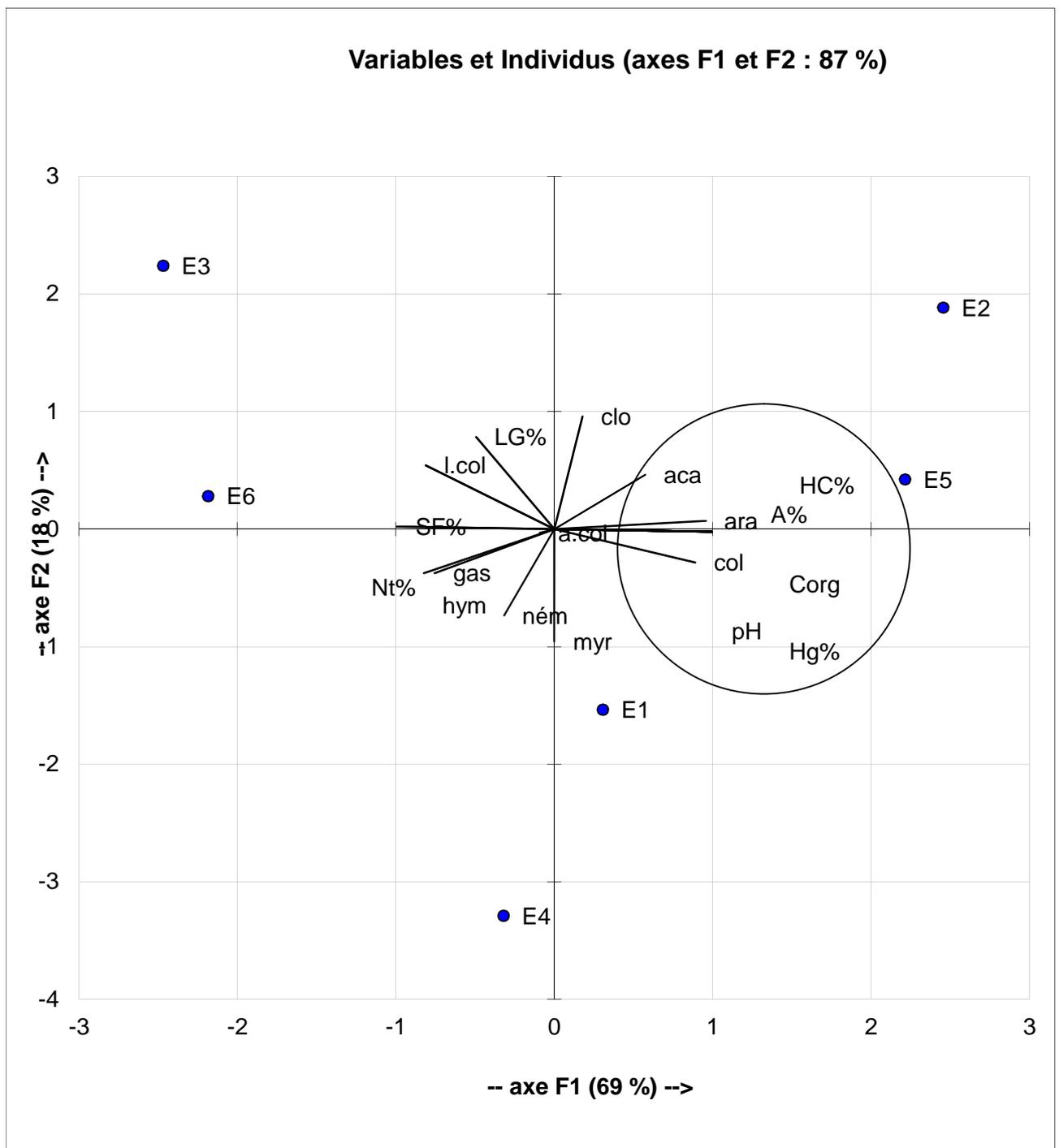


Figure 17 : projection des différentes variables et individus sur le plan factoriel.

Cette ACP confirme la relation et l'effet positif qui existe entre les collemboles et les acariens, ces derniers sont stimulés dans des sols humides et riche en matière organique (Gobat et al, 1998 ; Beauchamp, 2003). Ces invertébrés vivent en étroite relation avec les autres groupes fauniques ainsi que les différentes composantes physiques et chimiques des sols sans oublier l'impact des conditions climatiques et celles des espèces cultivées.

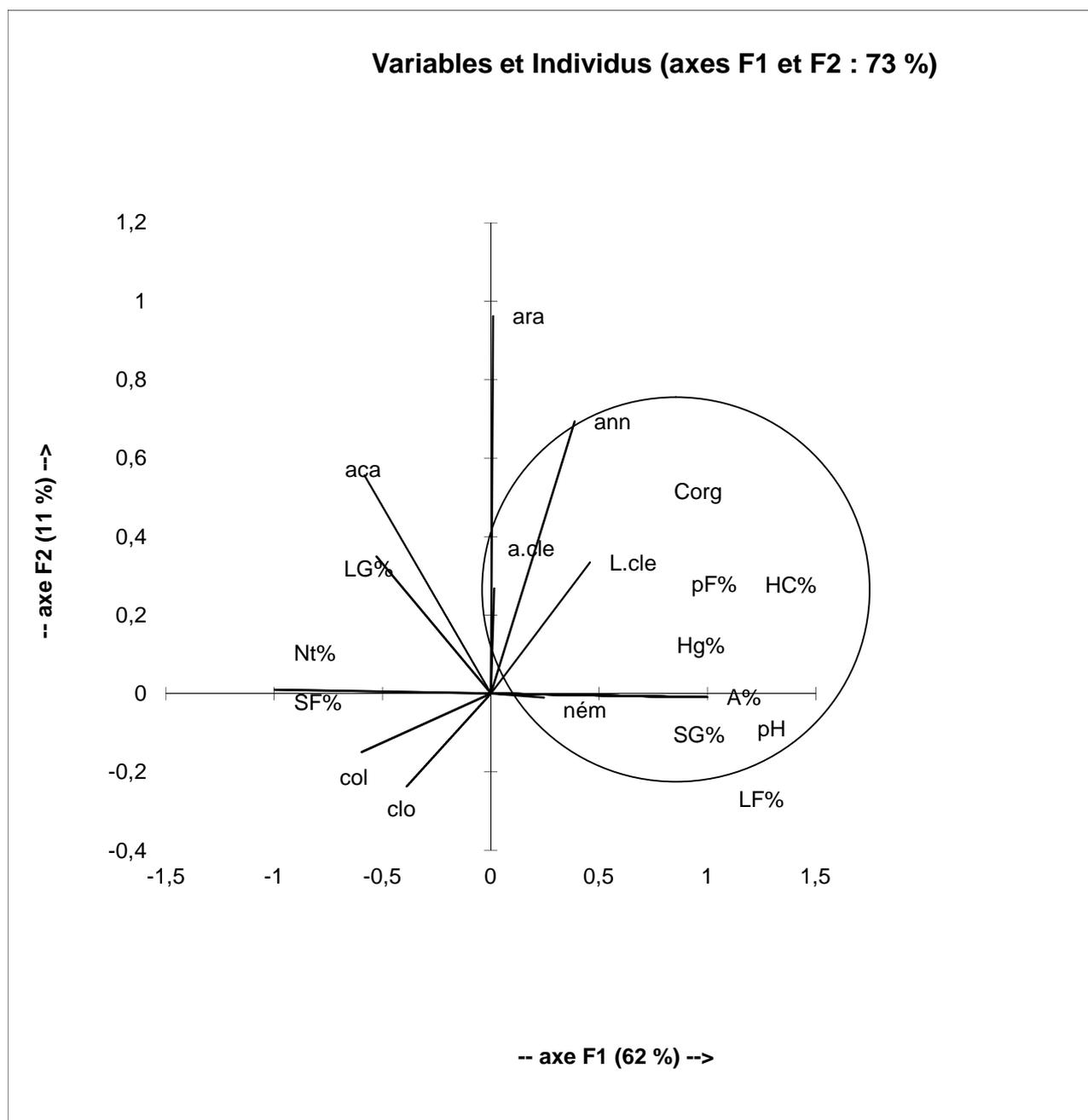


Figure 18 : projection des différentes variables et individus sur le plan factoriel.

Vu l'interprétation des axes, la structure des nuages des relevés obtenus par IACP. Peut être exprimé le long de l'axe 2 et parfaitement assimilable à la distribution des groupes suivant les conditions du milieu.

Cette ACP confirme la relation existante entre les annélides et le taux d'humidité du sol ainsi que le carbone organique dans le sol.

Conclusion et perspectives

Le présent travail consiste à évaluer l'impact des cultures fourragères sur l'abondance et la répartition saisonnière des invertébrés des sols cultivés de la région de Boukhalfa. Cependant, deux parcelles ont été choisies, la première occupée par le trèfle et la seconde par l'orge. Le sol peut être défini par ses fonctions naturelles au sein de l'agrosystème ou par ses usages qu'en fait l'homme. A ce titre, il fait l'objet de mesures et de représentations divergentes. Les impacts des actions humaines sur les milieux posent le problème du suivi des dynamiques et des trajectoires des écosystèmes, par le biais d'observations, de modélisations et d'expérimentations. Les empreintes anthropiques sur les sols évoluent différemment selon les contextes, les échelles et les choix de développement.

Cette étude nous a permis de recenser 10 groupes faunistiques dans deux parcelles appartenant à la même lithotoposéquence parmi lesquels : les nématodes, les acariens, les collemboles, les cloportes, les aranéides, les myriapodes, les coléoptères, les gastéropodes, les hyménoptères et les annélides. Les résultats obtenus révèlent des variables sous les deux espèces fourragères choisies. A cela s'ajoute un effet marqué de la saison sur le total des totaux de chaque parcelle. La comparaison du sol sous le trèfle par rapport à l'orge montre que les effectifs d'invertébrés de ce dernier sont importants. Cela confirme que ces invertébrés manifestent des préférences écologiques qui conditionnent leur répartition.

Elle a permis de montrer en termes de variation saisonnière et d'abondance que les invertébrés sont structurellement différents. Il apparaît également que l'abondance change en fonction de l'espèce. Les parcelles étudiées présentent des densités supérieures en hiver qu'en été.

Cette recherche nous a permis de mettre en évidence l'effet saison et culture sur l'abondance et la diversité de la pédofaune vue son importance dans l'écosystème sol et son rôle majeur dans l'agriculture biologique et la relation faune-culture. Elle permettra de progresser dans la compréhension des relations entre la composition des peuplements de la faune du sol et les conditions biotiques et abiotiques de ce dernier.

Les résultats obtenus durant cette étude ouvrent de nouvelles portes pour une recherche et un suivi plus détaillé sur les réponses de la pédofaune aux conditions du milieu ainsi que leur rôle dans la protection des plantes cultivées.

D'un point de vue fondamental cette évaluation originale doit être confrontée à d'autres données nouvelles, notamment en raison de l'installation de nouvelles cultures fourragères dans plusieurs régions d'Algérie. Dans un cadre de la mise en valeur des sols dégradés. Il faut savoir rechercher s'il existe un endémisme de la faune des sols, lié à une adaptation stricte de tolérance au stress hydrique et pourquoi pas salin. Néanmoins, les invertébrés des sols ne répondent pas aux mêmes patrons de richesse que les végétaux. Toutefois, cette étude basée surtout sur l'abondance des bioindicateurs dans les sols est la plus complète possible dans la région en ce qui concerne ces agrosystèmes. De plus, elle a permis de hiérarchiser certains facteurs qui contrôlent l'abondance des invertébrés édaphiques en zones subhumide et permet aussi d'apporter des valeurs de référence dans les sols sous orge et trèfle en l'Algérie.

Il est important de faire un aménagement raisonné des sites dans une vision de conservation de la biodiversité, et donc de l'ensemble des services écologiques que cette biodiversité pourvoit. Ce qui constitue une stratégie efficace pour le contrôle des ravageurs avec un moindre coût. Pour compléter ce travail, il est opportun d'étudier les effets des deux espèces à l'interface sol/racine sur des sols contigus, sachant que ces aspects ne sont pas documentés. Puis une étude comparative de la biomasse racinaire et la stratégie d'exploitation des sols avec un effet sur les rendements et la valeur alimentaire de ces fourrages.

Notre travail a donné des clés mais il reste à remettre en ordre les données obtenues et surtout et identifier les questions restantes :

Le suivi de la faune du sol pendant tout le cycle biologique de la culture considéré pour bien comprendre ce processus.

1. **AIT MOULOUD S., 2011.** Biodiversité et distribution des collemboles dans l'écotone eau sol forestier dans la mare d'aghribs et dans la tourbière d'Et Kala. Thèse de magister. UMMTO. 115p
2. **ALVAREZ G., CHAUSSOD R., CLUSEAU D., GODDEN B., LEMARIE CH., METZGER L., NICOLARDOT B., PARAT J. ET SALDUCCI X., 2002.** Activités biologiques et fertilité des sols : intérêts et limites de méthodes analytiques disponibles. ITAB. Paris. 27p..
3. **AMRI C., 2006.** Les collemboles de quelques habitats et biotopes de l'Est Algérien inventaire et dynamique saisonnière, Mémoire de Magister, Université de Constantine. 108 p.
4. **AMSALLEM I., BOULIER F., VILLEME-JEANNE N., 2012.** Les dossiers d'AGROPOLI international compétences de la communauté scientifique : Agronomie plantes cultivées et systèmes de culture ; 2^{ème} édition. ,68p.
5. **AOUAR SADLI M., 2009.** Systématique, écoéthologie des abeilles (Hyménoptères: *Apoidea*) et leurs relations avec la culture de la fève (*Vicia faba*) sur champs dans la région de Tizi-Ouzou. Thèse doctorat. UMMTO. 268.
6. **ANDRE H., 2006.** La biodiversité dans les sols en région Wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique sur l'état d'environnement Walon. Musée Royal, l'Afrique centrale, Tervuren. 44p.
7. **ARRIDO-JURADO G., RUANO F., CAMPOS M., QUESADA-MORAGA E., 2011.** Effects of soil treatments with entomopathogenic fungi on soil dwelling non-target arthropods at a commercial olive orchard. *Biological Control*. 239-234.
8. **Anonyme 1** , <http://Fr.googleearth/Boukhalfa>.
9. **BACHELIER G., 1979.** La faune des sols ; son écologie et son action. Edition O.R.S.T.O.M.391p.
10. **BEAUCHAMP J-J., 2013.** Le trèfle violet production et valorisation à la ferme. Agriculture et territoire. 4p.
11. **Bedano J.C., Canti M.P., Doucet M.E., 2006.** Soil springtails (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.
12. **BEAUMONT A et CASSIER P., 2000.** Biologie animale des protozoaires aux métazoaires épithélioneuriens, Edition Dunod, 954 p.

- 13. BETENCOURT E., 2012.** Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol : processus rhizosphériques sous-jacents. Thèse de doctorat. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques (Montpellier SupAgro). 244p.
- 14. 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.
- 15. BOUET S., COLLIN F., DENEUFBOURG F., CHEVEREAU C., JONIS M., KONATE K., GAYRAUD P., 2005.** Produire des semences de trèfle violet dans un itinéraire agrobiologique. 4p
- 16. BOURGUIGNON C., 2006.** La destruction des sols par l'agriculture intensive. n° 31. 3p.
- 17. BOTHMER R. et JACOBSEN N., 1985.** Origin taxonomy and related species. In. Rasmusson, DC (ed). Barley. American Society of Agronomy, crop Science society of America, Soil science of america, publishers, Madison, Wisconsin. ASA Monograph, 26: 19-56.
- 18. BOTHMER R., JACOBSEN N., 1995.** Taxonomy in the *Hordeum murinum* complex (Poaceae), Nord. J. bot., 15(5) :449-458.
- 19. BROWN G., PASSINI A., BENITO N P., DE AQUINO ET CORREIRA M., 2002.** Diversity and functional role of soil macrofauna communities in brasilian no-tillage agroecosystems: a preliminary analysis. Paper based on an oral presentation at the international symposium on managing biodiversity in agricultural ecosystems ".Montréal, Canada 8-10 November 2001. 8p.
- 20. BROWN K., CARPENTER D., 2014.** Earthworm Society of Britain 6p.
- 21. COMTE., 2012.** Fiches Techniques : le taupin, 4p.
- 22. CALVET R., 2003.** Le sol: propriétés et fonctions, Tome 2 : Phénomènes physiques et chimiques application agronomique et environnement, Edition France.
- 23. CHAMBRE D'AGRICULTURE., 2012.** le taupin en culture légumière. 3p.
- 24. CHARLES R., MONTFORT F., SARTHOU J-P., 2012.** Réduire les fuites de nitrates au moyen de cultures intermédiaires. Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune. 261p.
- 25. CHAUSSOD R., 1996.** La qualité biologique des sols : évaluation, implication. Edition I.N.R.A, pp 261-264.
- 26. CHAUSSOD R., 2001.** Préserver la qualité biologique des sols. Edition I.N.R.A. 28p.

- 27.COINEAU., 1974.** Introduction à l'étude des microarthropodes du sol et des ses annexes, document pour l'enseignement pratique de l'écologie, DOIN, Paris, 117 p.
- 28.COLEMAN DC., CROSSLEY DA., HENDRIX PF., 2004.** Fundamentals of Soil Ecology 2nd edition. Academic press. USA: Elsevier science & Technology Boocks, 408p.
- 29.DAJOZ R., 1983.** La dynamique des populations .Edition Dunod, pp 134-154
- 30.DAVET P., 1996.** La vie microbienne du sol et production végétale, Edition I.N.R.A, 383p.
- 31.DEBARGE S., TENAUD A., 2015.** Cultiver des légumineuses pour réduire l'utilisation des intrants de synthèse. Agriculture et environnement n⁵.ADEME. 11p
- 32.DEBELJAK M., ANDERSEN M.N., SAUSSE C., BIRCH A., CAUL S., HOLMSTRUP M., HECKMANN L.H et CORTET J., 2007.** Responses by earthworms to reduced tillage in herbicide tolerant maize and Bt maize cropping systems. *Pedobiologia* 51, 219–227.
- 33.DEPRINCE A., 2003.** La faune du sol, diversité, méthode d'étude, fonctions et perspectives – le courrier de l'environnement de l'INRA n 49, pp 123-138.
- 34.DOYLE JJ., LUCKOW MA., 2003.**The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiology* 131: 900–910.
- 35.DOWNIE, J.A. (2005).** Legume haemoglobins: symbiotic nitrogen fixation needs bloody nodules. *Current biology* : CB 15, R196-198.
- 36.DUBS F., BOULANGER G., AUDA Y., FEDOROFF E., PONGE J-F., LAVELLE P., 2002 .** Impact du changement de l'utilisation des terres sur la biodiversité de la faune du sol : le cas du Morvan. 8p.
- 37.DUCHAUFOR PH., 1994.** Pédologie, sol, végétation, environnement, Edition Masson, 289 p.
- 38.EDOUKOU E-F., KONE A-W ET TONDOH J-E., 2013.** *étude et Gestion des Sols*,: Les jachères à base de *Chromolaena odorata* (Asteraceae) et de légumineuses ont-elles les mêmes potentialités agronomiques? Edition 95p
- 39.EYSSERIC A., BRULIE M ET BRETIN L., 2012.** Les organismes du sol : collemboles et agriculture.
- 40.FREYSSINEL R., 2007.**étude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agroforestiers, programme CASDAR agroforesterie 2006-2008, recherche et développement de la France, 46p.
- 41.JEFFERY S., GARDI C., JONES A., MONTANARELLA L., MARMO L., MIKO L., RITZ K., PERESE G., ROMBKE J ET VANDER W., 2010.** Atlas européen de la

- biodiversité du sol. Commission européenne, Bureau des publications de l'union européenne, Luxembourg. 130p.
- 42. JOSSI W, ZIHLMANN U, ANKEN T, DORN B ET VAN DER HEIJDEN M. 2011.** Un travail du sol réduit protège les vers de terre. Recherche agronomique Suisse 432-439.
- 43. JULIER B, HUYGHE C, 2010.** Quelles légumineuses fourragères (espèces et variétés) et quelles conduites pour améliorer l'autonomie protéique des élevages herbivores ? Innovation agronomique.104-114.
- 44. HOPKIN SP., 2002.** Biology of the springtails insecta : collembola. United states : Oxford University press, 340p.
- 45. Harder S., 2012.** Utilisation des insectes pour évaluer la qualité des sols, Centre d'agriculture biologique de Canada, le réseau du savoir biologique.
- 46. INE S., JAMES C., MICHAEL C., KEN F., HERSH M., LADEAU S., MCBRIDE A., NATHAN E., ET MICHAEL S., 2006.** Predicting biodiversity change: outside the climate envelope, beyond the species–area curve. The ecological society of America ,11p.
- 47. IRMLER I., 2006.** Climatic and litter fall effects on collembolan and oribatid mite species and communities in a beech wood based on a 7 years investigation. European journal of soil biology. 42. 51. 66p.
- 48. GARCIA C., ROLDAN A., HERNANDEZ T, 2004.** Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. 202p.
- 49. GARRETT C.J., CROSSLEY JR., COLEMAN D.C., HENDRIX P.F., KISSELLE K.W., POTTER R., 2001.** Impact of the rhizosphere on soil microarthropods in agroecosystems on the Georgia piedmont. Appl. Soil Ecol. 16, 141–148.
- 50. GARRIDO-JURADO F., RUANO M., CAMPOS E., QUESADA-MORAGA., 2001.** Effects of soil treatments with entomopathogenic fungi on soil dwelling non-target arthropods at a commercial olive orchard. Biological Control 59, 239–244.
- 51. GIRARD JM., WALTER C., REMY JC., BERTHELINJ ET MOREL JL., 2005.** Sol et environnement, édition Campus DUNOD, Paris, 816 p.
- 52. GOBAT J.M, ARAGNO M .ET MATTY W., 2003.** Bases de pédologie, biologie des sols : le sol vivant 2ème édition PPUR. Edition Lausanne. 569 p.
- 53. GOBAT J .M, ARAGNO M. ET MATTY W, 2010.** Le sol vivant. 3ème édition. Revue et augmenté.150-165.

- 54.GRIMALDI M., 2010.** Les sols des milieux vivants très fragiles, les dossiers thématiques de l'IRD. Edition SUDS.
- 55.GEPTS P., BEAVIS WD., BRUMMER EC., SHOEMAKER RC., STALKER HT., WEEDEN NF.,YOUNG ND., 2005.** Legumes as a Model Plant Family. Genomics for Food and Feed Report of the Cross-Legume Advances through Genomics Conference. *Plant Physiology* 137: 1228–1235
- 56.GRAHAM PH., VANCE CP., 2003.** Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiol* 131: 872–877.
- 57.LAL R, 1988.** Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems and environment, 24. 101-106.
- 58.LAVELLE P., 2001.** Soil ecology. Cluwer academic publisher, Doedresht-Boston-Londre, 654p.
- 59.LAVELLE P., BLOUN M., CADET P., LAFFRAY D ., PHAM THI A.,SETTLE W H., et ZUILY Y.,2003.** Diversité de la faune du sol et contrôle des ennemis des cultures. Ed. Académie des sciences.
- 60.LAVELLE P., DECAËNSB T, AUBERTB M, BAROTA S, BLOUNA M, BUREAUB F, MARGERIEB P, MORAA P., ROSSIC J-P, 2006.** Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42. 13p.
- 61.LAZREK - BEN FRIHA F, 2008.** Analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de *Medicago truncatula* et recherche de QTL liés au stress salin. Thèse a l univ l'Université Toulouse III, 255 p.
- 62.LUKAS P ,2013.** Vers de terre, architectes des sols fertiles. Edition Suisse. 66p.
- 63.LEMBROUK L.2006.,** impact de pollution industrielle générée par l'Electro-Industries d'Azazga et l'Enterprise Nationale des Entreprises Electroménagères d'Oud Aissi sur la faune du sol. Majester à UMMTO, 146 p.
- 64.MAILLEUX A., 2007.** Les acariens, tu connais ?, Printemps des sciences, Bruxelles.
- 65.MASSICOTTE D., ANGERS D., BEDARD Y., CHOINARD P., LAVERDIERE M., MEHUYS G., ROBERT L, 2000.** Impact sur les propriétés du sol, les cultures et l'environnement, 14p.
- 66.MATHIEU J., 2004.** Etude de la macrofaune du sol dans une zone de déforrestation en Amazonis de sud-est, au Brasil, dans le contexte d'une agriculture familiale. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie – Paris 6.237p.

- 67.MAURER T., 2006** Biologie du sol après dix ans de semis direct ou de labour. Revue Suisse agricole 38. Pp 89-94.
- 68.MENARD O., 2005.** Colloque en agroenvironnement des outils d'intervention à notre échelle. Les ouvriers du sol et les pratiques agricoles de conservation. CRAAQ. 6p.
- 69.MORIN R., 2002.** Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants, Edition des Direction de l'innovation et de technologies, Québec, 11p
- 70.MORÓN-RÍOS A., RODRÍGUEZ M., PÉREZ-CAMACHO L., REBOLLO S., 2010.** Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil invertebrates of a mediterranean old- field. Edition Elsevier Masson.
- 71.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, 8ème promotion F.A.S.A.66p. U.F.R Sciences de la vie et de l'environnement. 266p.
- 72.PESSON P., 1971.** La vie dans les sols : Aspects nouveaux, études expérimentales. Coll géobiologie, écologie, aménagement. Edition Gauthier-Villard Paris, 417 p.
- 73.PETER M., 2013.** Les principes de la fertilité des sols : construire sa relation avec le sol. Bio Suisse. 32p.
- 74.POEHZMAN M., 1985.** Adaptation and distribution. Pages 1-17 in Barley. D.C.Rasmusson, et.Agron.Monogr.26.Am. Soc. Agronomy: Madison, WI.
- 75.PIHAN., 1986.** Les insectes, Edition Masson, 160 p.
- 76.POUSSET J., 2008.** Le trèfle violet en agriculture biologique. Association d'agriculture, écologique de l'Orne (AGRECO) 5p.
- 77.PELOSÌ C., 2008.** Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *Lumbricus terrestris* au champ, contribution à 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.
- 78.RENAUD A., POINSOT-BALAGUER N., CORTET J., LE PETI J., 2004.** Influence of four soil maintenance practices on Collembola communities in a Mediterranean vineyard. Pedobiologia 48, 623–630.
- 79.ROBELIO L., LAVELLE P., CELINI L., CARLOS L., LOURIVAL V., ET BECQUER T., 2009.** Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. Pesq. agropec. , Brasília, v44, n.8, p1011-1020.

- 80.ROVILLEM N., XAVIER R., 2008.** Le petit peuple du sol Laboratoire d'écologie microbienne, Inra-CNRS-Université Lyon.
- 81.SIMONE F., UTE V., URSULA K., 2011.** Vers fils de fer (taupins): Possibilités de régulation. Agroscope, 56p.
- 82.SOLTNER D., 2005.** Les bases de la production végétale –le climat-la plante. 21^{ème} Edition Sciences et techniques agricoles. 111 p.
- 83.THOMASF., MATTHIEU A., 2013.** Les couverts végétaux Gestion pratique de l'interculture. Edition France agricole.301 p
- 84.TINGLE C., 1999.** Les invertébrés terrestres. Natural Resources Institute, University of Greenwich. 159p.
- 85.URICH R., 1993.** Biophilia, Biophobia, and natural landscapes. In S.R. Keller t & E.O, Wilson (Eds), *the biophilia hypothesis* (pp.73-137). Washington, D. C: Island Press.
- 86.VERON G., 2002.** Organisation et classification du monde animal. Edition Nathan, Paris, 145p.
- 87.VILLENAVE C., OUMARBA A., RABARY B., 2009.** Analyse du fonctionnement biologique de sol par l'étude de la nématofaune: semis direct après labour sur les hautes terres près d'Antsirabé.
- 88.WALIGORA C., 2010.** Racines et sol : un monde de communication et d'équilibre, agriculture de conservation, TCS n°57.
- 89.WOLTERS V., 1998.** Long term dynamics of a collembolan community. Applied soil ecology.9.221-227.
- 90.ZHENYU C., BRENDAN J., KONKEY MC., RCHIK B., 2010.** Proteomic studies of plant-bacterial interaction, soil biology and chemistry.12p.

Annexe 1 : données climatiques

Annexes 2 : clé de détermination simplifiée des invertébrés

***Annexe 3** : Abondance des invertébrées sous le trèfle en saison hivernale

	Culture	N_sol	REP	Nem	Aca	Col	Myria	Clop	Annl	Aran	L_col	A_col	O_col	Gast	Hym	Total	A%	Corg	Nt%	pH
S1	T	N1	r1	48	112	0	16	0	48	0	0	0	0	0	0	224	41,5	1,72	0,17	7,57
S1	T	N1	r2	48	32	0	0	0	48	0	48	0	0	0	0	176	41,49	1,71	0,18	7,56
S1	T	N1	r3	16	160	32	0	48	16	0	128	0	0	0	0	400	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	T	N1	r4	16	64	16	0	0	16	0	48	0	0	0	0	160	41,5	1,72	0,17	7,57
S1	T	N1	r5	16	48	96	16	0	48	0	48	0	0	0	0	272	41,49	1,71	0,18	7,56
S1	T	N1	r6	32	112	352	0	16	16	16	0	0	0	0	0	544	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	T	N2	r1	96	64	0	32	0	96	0	0	0	0	0	0	288	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	T	N2	r2	48	104	0	96	16	80	0	0	0	0	0	0	344	41,5	1,72	0,17	7,57
S1	T	N2	r3	16	0	32	0	16	64	0	0	0	0	0	0	128	41,49	1,71	0,18	7,56
S1	T	N2	r4	0	64	80	16	0	80	0	0	0	0	0	0	240	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	T	N2	r5	0	96	160	0	0	48	0	0	0	0	0	0	304	41,5	1,72	0,17	7,57
S1	T	N2	r6	32	32	112	0	0	48	0	0	0	0	0	0	224	41,49	1,71	0,18	7,56

Annexe 4: Abondance des invertébrés sous l'orge en saison hivernale.

Saison	Culture	N_sol	REP	Nem	Aca	Col	Myria	Clop	Annl	Aran	L_col	A_col	O_col	Gast	Hym	Total	A%	Corg	Nt%	pH
S1	O	N1	r1	32	64	128	0	0	16	16	16	16	0	0	0	288	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	O	N1	r2	48	112	640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	41,5	1,72	0,17	7,57
S1	O	N1	r3	48	64	1856	0	48	0	0	16	16	0	0	0	2048	41,49	1,71	0,18	7,56
S1	O	N1	r4	0	48	192	0	0	0	0	16	16	0	0	0	272	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	O	N1	r5	16	48	288	0	0	0	0	0	48	48	0	0	448	41,5	1,72	0,17	7,57
S1	O	N1	r6	0	112	736	0	0	0	0	0	0	0	0	0	848	41,49	1,71	0,18	7,56
S1	O	N2	r1	16	192	976	0	0	0	16	0	16	0	0	0	1216	41,49	1,71	0,18	7,56
S1	O	N2	r2	48	0	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	368	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	O	N2	r3	16	96	1248	0	16	0	0	16	0	0	0	0	1392	41,5	1,72	0,17	7,57
S1	O	N2	r4	0	64	1840	0	0	0	0	0	0	16	0	0	1920	41,49	1,71	0,18	7,56
S1	O	N2	r5	32	32	1344	0	0	0	0	0	0	24	0	0	1432	41,51	1,73	0,16	7,58
S1	O	N2	r6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41,5	1,72	0,17	7,57

Annexe 5 : Abondance des invertébrées sous le trèfle en saison estivale.

Saison	Culture	N_sol	REP	Nem	Aca	Col	Myria	Clop	Annl	Aran	L_col	A_col	O_col	Gast	Hym	Total	A%	Corg	Nt%	pH
S2	T	N1	r1	16	96	176	0	48	0	0	0	32	0	0	32	400	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	T	N1	r2	32	480	240	0	0	0	0	0	0	0	0	64	816	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	T	N1	r3	16	160	0	16	40	0	0	0	16	0	0	104	352	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	T	N1	r4	624	288	208	0	64	0	64	0	0	0	0	128	1376	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	T	N1	r5	24	104	208	0	64	0	56	0	16	0	16	48	536	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	T	N1	r6	320	224	104	0	16	0	56	32	16	0	0	116	884	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	T	N2	r1	32	80	176	0	0	0	96	0	0	0	16	192	592	41,49	1,71	0,18	7,56
S2	T	N2	r2	0	256	80	0	80	0	112	0	0	0	0	80	608	41,49	1,71	0,18	7,56
S2	T	N2	r3	16	208	64	0	16	0	48	64	0	0	32	320	768	41,49	1,71	0,18	7,56
S2	T	N2	r4	0	128	16	16	0	0	104	0	0	0	32	400	696	41,49	1,71	0,18	7,56
S2	T	N2	r5	16	40	128	16	0	0	104	0	0	0	16	136	456	41,49	1,71	0,18	7,56
S2	T	N2	r6	8	168	40	16	64	0	0	0	0	0	0	360	656	41,49	1,71	0,18	7,56

Annexe6 : Abondance des invertébrés sous l'orge en saison estivale.

Saison	Culture	N_sol	REP	Nem	Aca	Col	Myria	Clop	Annl	Aran	L_col	A_col	O_col	Gast	Hym	Total	A%	Corg	Nt%	pH
S2	O	N1	r1	0	1248	16	0	0	0	0	0	32	0	32	480	1808	41,5	1,72	0,17	7,57
S2	O	N1	r2	0	592	64	0	0	0	0	32	16	0	16	256	976	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	O	N1	r3	0	432	48	0	0	0	0	16	0	0	0	256	752	41,49	1,71	0,18	7,56
S2	O	N1	r4	0	144	32	0	0	0	0	32	0	0	0	400	608	41,5	1,72	0,17	7,57
S2	O	N1	r5	0	920	40	0	0	0	0	16	0	0	0	200	1176	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	O	N1	r6	0	288	40	0	0	0	0	16	0	0	48	72	464	41,51	1,71	0,18	7,56
S2	O	N2	r1	16	576	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	624	41,5	1,72	0,17	7,57
S2	O	N2	r2	0	416	64	0	0	0	0	0	32	0	32	0	544	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	O	N2	r3	16	256	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	304	41,49	1,71	0,18	7,56
S2	O	N2	r4	0	432	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	544	41,5	1,72	0,17	7,57
S2	O	N2	r5	16	496	32	0	0	0	0	0	16	0	32	0	592	41,51	1,73	0,16	7,58
S2	O	N2	r6	16	344	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	432	41,49	1,71	0,18	7,56