

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques
Département de biologie animale et végétale

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de master en biologie
Spécialité : Biologie de la conservation

Thème

Effet des pesticides sur les collemboles du sol: Cas d'un vignoble de Baghlia.

Présenté par : M^{lle} OURAK Célia

M^{lle} ADJAOUD Kamilia

Devant le jury:

Présidente:	M ^{me} CHAOUCHI N	Maître de conférences classe A à l'UMMTO
Promotrice:	M ^{me} SADOUDI -ALI AHMED D.	Professeur à l'UMMTO.
Co-promotrice:	M ^{elle} OULTAF L.	Doctorante à l'UMMTO.
Examinatrice:	M ^{me} ALI-AHMED S.	Maitre Assistant classe A à l'UMMTO.

Promotion 2019/2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la santé, la force et la volonté d'entamer et de terminer ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes pour lesquelles nous voudrions témoigner toute notre gratitude.

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de notre promotrice M^{me} SADOUDI-ALI AHMED, professeur à l'UMMTO. Nous tenons à lui exprimer notre profonde reconnaissance pour sa gentillesse, son efficacité et sa grande disponibilité.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre Co-promotrice M^{elle} OULTAF, doctorante à l'UMMTO, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre étude.

Nous remercions sincèrement les membres du jury :

- M^{me} CHAOUCHI qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de ce mémoire.

- M^{me} ALI-AHMED qui a accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions M. DIB, doctorant à l'UMMTO, pour son aide et ses conseils.

Nous voudrions aussi témoigner notre reconnaissance à M^{me} BOUNOUA MAA à l'UMMTO, pour son aide pratique dans l'identification des collemboles.

Nous tenons également à remercier Mme ABROUS, ingénieur de laboratoire de recherche, pour sa disponibilité et son aide.

Que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont, de près ou de loin, apporté leur aide et leur soutien.

Mille mercis à tous

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. La faune du sol 3

I. 1. Généralités sur la faune du sol 3

I.1.1. Définition de la faune du sol 3

I.1.2. Classification de la faune du sol..... 3

I.3. Relation faune-sol 6

I.4. Importance de la biodiversité pour le processus éco systémique..... 6

II. Pesticides 7

II.1. Historique..... 7

II.2. Généralités sur les pesticides 7

II.3. Classification des pesticides 8

II.4. Inconvénients des pesticides 9

II.4.1.Effets sur la santé..... 10

II.4.2.Effets sur l'environnement 10

II.5. Impacts sur la fertilité du sol 11

II.6. Devenir des pesticides dans l'environnement..... 11

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1. Echantillonnage 14

II.2.Caractéristiques du sol étudié 15

II.3. Utilisation de l'appareil de Berlèse-Tullgren 16

II.4. Détermination des taxons 17

Introduction

Les pratiques agricoles ont pour objectif initial de permettre une production quantitativement et qualitativement optimale. Les plantes nécessitent des soins pour croître et produire. Cela implique l'utilisation de produits adéquats tels que les engrais et les produits phytosanitaires (Guimont, 2005).

Après la seconde guerre mondiale, les pesticides ont permis le développement de l'agriculture et ont contribué à l'augmentation des rendements et à la régulation de la production agricole. Leur utilisation a également limité ou éradiqué un certain nombre de maladies parasitaires très meurtrières (Bourbia Ait-Hamlet, 2013)

Le devenir de ces produits concerne tout le milieu naturel dans son ensemble (sol, eau et air) mais le sol reste un compartiment clé car une grande proportion des pesticides appliqués lors du traitement des cultures arrive au sol, par application directe et/ou indirecte (Ayad-Mokhtari, 2012).

Des invertébrés terrestres sont exposés directement aux pesticides, parce qu'ils vivent dans toutes sortes d'habitats. D'autres invertébrés peuvent être touchés indirectement, soit par la disparition, soit par la réduction de leurs ressources alimentaires qu'elles soient végétales, ou animales (Fouber, 2012).

La vigne abrite une pédofaune diversifiée bien qu'elle ne soit pas la culture la plus riche en espèces. Toutefois, c'est une monoculture pérenne : elle constitue alors un terrain idéal pour les habitants du sol et l'air (Schreck, 2008).

La viticulture vise à prévenir et à endiguer tout développement de parasite par l'application de pesticides variés, quel qu'en soit le coût écologique pour éviter toute perte de récolte (Boulangier-fassier, 2008). A titre indicatif, 76% des terres cultivées dans le monde sont dégradées : perte de la biodiversité et appauvrissement des terres agricoles (Ruiz Camacho, 2004). En effet, les pesticides sont utilisés en grande quantité dans ce domaine, afin de lutter contre les organismes nuisibles (champignons, insectes, bactéries) ou pour contrôler les adventices (Schreck, 2008).

Les sols constituent 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 physiques, chimiques et biologiques (Maron-Rios et al., 2010). Des indicateurs biologiques ont été développés pour évaluer la qualité des sols dans un contexte de pressions environnementales menant à une perte de diversité et de fonctionnalité (Hedde, 2018). Le principal intérêt de ces

bio-indicateurs est de fournir des unités mesurables (abondance et diversité de la faune), afin d'évaluer leur potentiel à assurer des fonctions écosystémiques (ex : formation de la structure du sol, décomposition de la matière organique), notamment face à des changements environnementaux (Hodkinson et Jackson, 2005). Les vers de terre et les collemboles sont probablement les groupes taxonomiques les plus utilisés pour le diagnostic de la qualité biologique des sols (Hedde, 2018)

Une étude des effets des pesticides sur la faune d'un sol viticole, dans deux régions de Boumerdès (Dellys et Baghlia), a démontré que ces produits phytosanitaires impactaient la diversité faunistique de ce sol. Ceci a été confirmé par plusieurs paramètres d'évaluation (Babaci et Oudjoudi, 2019).

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail dont l'objectif consiste à déterminer l'effet des produits phytosanitaires sur la faune du sol. Cependant, notre travail se limitera à l'étude des effets des pesticides sur les collemboles dans les vignobles retenus en fonction de trois périodes (avant, pendant et après traitement par ces produits).

Pour atteindre cet objectif, nous subdivisons le présent mémoire en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique qui rapporte des données sur la faune du sol et les pesticides.
- Dans le second chapitre est rapportée la méthodologie de travail.
- Le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus et à leur discussion. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

I. la faune du sol

I.1. Généralités sur la faune du sol

I.1.1 Définition de la faune du sol

La pédofaune ou la faune du sol est l'ensemble des animaux qui réalisent tout ou une partie de leur cycle de vie dans le sol (Paye, 2010). Les organismes du sol sont incroyablement diversifiés en forme, en couleur, en taille et en fonction, des procaryotes microscopiques aux mammifères macroscopiques. Ils appartiennent à la majorité des branches de l'arbre de la vie (Bispo et *al.*, 2018). La pedofaune représente 5 à 15% en masse des organismes vivants dans le sol (Citeau et *al.*, 2008). On estime actuellement que la faune du sol représente plus de 80 % de la biodiversité animale (Deprince, 2003).

I.1.2. Classification de la faune du sol

Il existe différentes classifications pour la faune du sol (Annexe 1).

Le tableau 1 rapporte le classement des organismes constituant la faune du sol selon la taille.

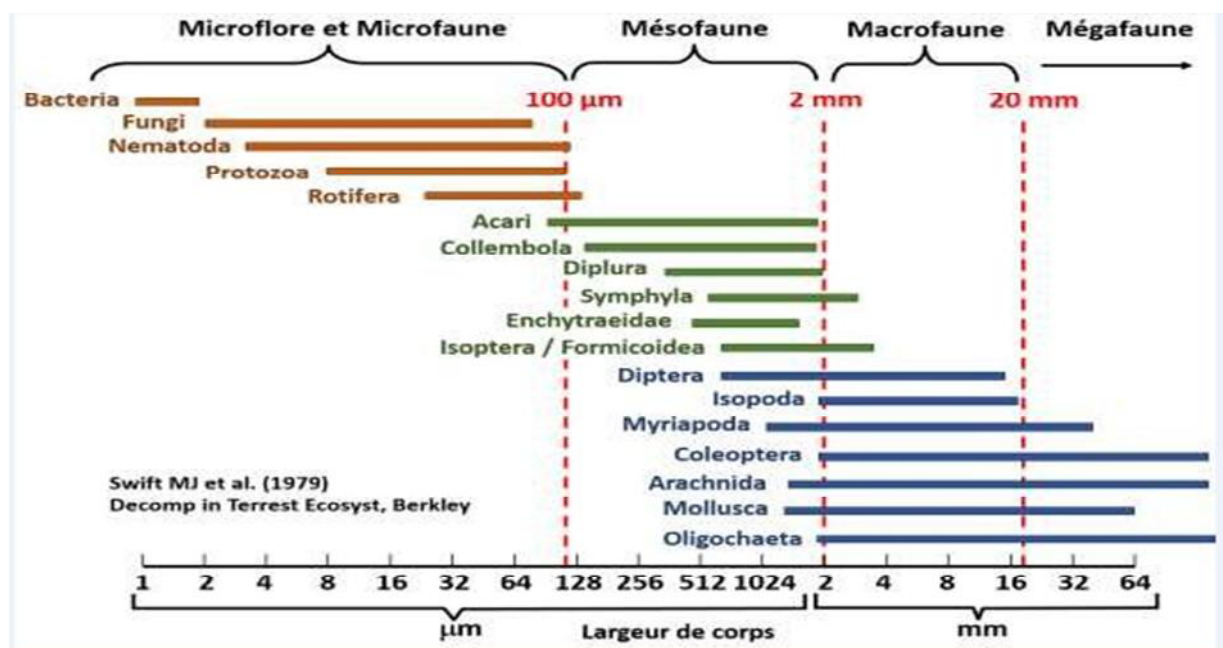


Figure 1: Classification de la faune du sol selon la taille (Bispo et *al.*, 2018)

I.1.2.1. Microfaune

Elle comporte des individus de moins de 0,2 mm et qui sont généralement des espèces hydrophiles. Cette catégorie présente le plus souvent des formes de résistance à la sécheresse.

Certains de ces animaux peuvent, grâce à leur taille et leur forme, pénétrer dans les capillaires des sols. Les Protozoaires et les Nématodes constituent l'essentiel de la microfaune (Bachelier, 1963).

1.1.2.2.Mésafaune (méiofaune)








Elle regroupe des individus mesurant entre 0.2 à 4mm. On y trouve soit des espèces hydrophiles ou des espèces xérophiles, adaptées à la sécheresse. Deux grands groupes des microarthropodes (collembolés et acariens) sont présents dans cette catégorie (Bachelier, 1963).

Les collembolés, cousins des insectes, sont des microarthropodes hexapodes (Thibaud et D'Haese, 2010). Ils représentent les hexapodes les plus abondants sur terre (Jeffery et al., 2010). Ils vivent essentiellement dans la litière du sol mais ce groupe très diversifié peut occuper de nombreux milieux : profondeur du sol, rochers, arbres, milieux humides ou même l'eau (Auclerc, 2017). Le nombre d'espèces de collembolés qui sont actuellement décrites dans le monde est de 8600 mais il en reste encore de nombreuses autres à découvrir (Salmon, 2017). Les collembolés qui vivent essentiellement au niveau du sol sont de trois types qui sont:

- _ Les épiédaphiques, vivant à la surface du sol, sur la végétation : Entomo- bryoides et Symphypléones.
- Les hémi édaphiques, vivant dans la litière et les premiers centimètres du sol (humus) : Poduromorphes et Isotomides.
- Les euédaphiques, vivant dans le sol profond : Onychiurides. (Thibaud et D'Haese , 2010).

Le tableau suivant représente les quatre ordres des collembolés Symphypléones, Néélipléones, Entomobryomorphes, Poduromorphes.

Tableau 1 : Les ordres de collemboles:Symphypléones, Néélipléones, Entomobryomorphes, Poduromorphes (Thibaud et D'Haese, 2010).

Ordre:Poduromorpha		Ordre:Entomobryomorpha	
			
Famille : Neanuridae Espèce: <i>Holacanthella paucispinosa</i>	Famille:Onychiuridae Espèce: <i>Onychiurussp.</i>	Famille:Entomobryidae Espèce: <i>Dicranocentrussp.</i>	Famille :Isotomidae Espèce: <i>Cryptopygussverdrup</i>
Ordre:Neelipleona		Ordre : Symphypleona	
			
Famille : Neelidae Espèce : <i>Neelussp.</i>	Famille :Dicyrtomidae Espèce : <i>Dicyrtomasp.</i>	Famille : Sminthuridae Espèce : <i>Allacmasp.</i>	

I.1.2.3. Macrofaune

La macrofaune englobe des individus mesurant entre 4 et 80 mm. Elle est représentée par les lombrics (ou vers de terre), les insectes supérieurs, les myriapodes, de nombreux arachnides, les mollusques, etc. (Bachelier, 1963).

I.1.2.4. Mégafaune

Dans laquelle les individus mesurent de 80 mm à 1,60 mm. On y retrouve plusieurs groupements dont les crustacés (exemple: les écrevisses), des reptiles, des insectivores (comme les taupes), des rongeurs, etc. (Bachelier, 1963).

I.3. Relation faune-sol

Le sol est l'habitat de divers organismes, dont la faune qui est conditionnée par les différents facteurs écologiques tout au long de l'évolution de son milieu. Cette pedofaune apparue à un moment donné, tend généralement à demeurer au sein de la communauté si les conditions sont favorables (Bachelier, 1963).

Les nouvelles techniques utilisées ont permis d'aller au-delà de l'aspect quantitatif de la faune pour s'intéresser à leurs rôles au sein de leur habitat. Ainsi, il a été démontré que l'action physique de ces animaux corrélée à leur taille aide à structurer le sol en creusant des galeries qui facilitent le drainage de l'eau et l'aération. La faune contribue à la transformation de la matière organique (animale et végétale) aux côtés des organismes microbiens en assurant, par exemple, la phase de décomposition (les saprophages) et la formation de l'humus (Deprince, 2003).

De plus, les organismes du sol jouent un rôle d'auxiliaire de culture et permettent la régulation des populations des ravageurs tels que les insectes (exemple : l'utilisation du Trichogramme, un parasitoïde contre la Pyrale) (Bonetti et *al.*, 2016).

I.4. Importance de la biodiversité pour le processus écosystémique

Plusieurs études attestent de l'importance de la diversité des espèces dans le processus écosystémique. Dans ce contexte, une étude sur les animaux détrivores du sol a mis en évidence l'importance qui lie les différents attributs fonctionnels de l'ensemble des espèces présentes à l'efficacité à assurer le rôle de décomposition (Hättenschwiler et *al.*, 2018).

D'autres résultats théoriques et expérimentaux montrent que les sols ayant une biodiversité élevée sont plus résistants aux perturbations environnementales et sont aussi plus résilients que ceux ayant une diversité plus faible. Dans d'autres cas, si la biodiversité est réduite au-dessous d'un certain seuil, cela pourrait avoir des répercussions irréversibles sur les fonctions des organismes (Jeffery et *al.*, 2010).

II. Pesticides

II.1. Historique

Les pesticides ont été très tôt, utilisés pour protéger les cultures et la santé publique. Dans la Grèce antique, le soufre était déjà utilisé comme agent de fumigation. Au 1^{er} siècle, l'ancien naturaliste romain, Pline énonça l'utilisation de l'arsenic comme insecticide dans ses écrits. La découverte des propriétés toxiques des plantes permet leur utilisation en tant que pesticide. Ensuite, vint la découverte des propriétés insecticides de la nicotine (Bonnefoy, 2012).

L'essor de la chimie minérale fournit de nombreux pesticides minéraux tirés des sels et du cuivre. L'essor véritable des pesticides est lié au développement de la chimie organique de synthèse à partir de l'année 1930. Les premières et secondes guerres mondiales ont favorisé la découverte de nouveaux composés organiques (Tableau 2) (Bonnefoy, 2012).

Tableau 2: Historique de l'évolution des trois plus grandes classes de pesticides (Miquel, 2003).

Évolution des produits			
	HERBICIDES	FONGICIDES	INSECTICIDES
Avant 1900	Sulfate de cuivre Sulfate de fer	Soufre Sels de cuivre	Nicotine
1900 - 1920	Acide sulfurique		Sels d'arsenic
1920 - 1940	Colorants nitrés		
1940 - 1950	Phytohormones...		Organo-chlorés Organo-phosphorés
1950 - 1960	Triazines, Urées substituées Carbamates	Dithiocarbamates Phtalimides	Carbamates
1960 - 1970	Dipyridyles, Toluidines...	Benzimidazoles	
1970 - 1980	Amino-phosphonates Propionates...	Triazoles Dicarboximides Amides, Phosphites Morholines	Pyréthrinoïdes Benzoyl-urées (régulateurs de croissance)
1980 - 1990	Sulfonyl urées...		
1990 - 2000		Phénylpyrroles Strobilurines	

II.2. Généralités sur les pesticides

Selon la FAO et l'OMS (2014), les pesticides sont définis comme toutes substances ou association de substances chimiques ou biologiques destinées à repousser, détruire ou combattre les organismes nuisibles ou à être utilisée comme régulateur de croissance des plantes. Les pesticides, appelés produits phytopharmaceutiques sont donc toutes les substances chimiques naturelles ou de synthèse utilisées en agriculture pour contrôler les

différentes sortes de nuisibles (pests) (maladies, ravageurs et mauvaises herbes) à l'exception des produits à usage médical et vétérinaire (Priquet, 2004).

II.3. Classification des pesticides

Les pesticides sont classés, en général, selon la famille chimique, selon leur cible et leur mode d'action. Trois grandes familles de produits phytosanitaires sont distinguées à savoir les herbicides, les fongicides et les insecticides (Merchi, 2008).

II.3.1. Selon la cible

Les herbicides sont utilisés contre les végétaux entrant en compétition avec les plantes en ralentissant leur croissance (Fouber, 2012). Ils représentent les pesticides les plus utilisés dans le monde, toutes cultures confondues (El Mrabet, 2006).

Les insecticides sont destinés à détruire les insectes. Ils interviennent en tuant ou en empêchant la reproduction des insectes (Fouber, 2012). C'est le groupe le plus dangereux pour l'homme, l'animal et l'environnement, il représente plus d'une centaine de formulation (Gountan, 2013).

Les fongicides permettent de lutter contre les maladies cryptogamiques. Ils assurent une protection contre le développement des champignons parasites (Priquet, 2004).

À celles-ci, s'ajoutent des produits divers tels que les acaricides (contre les acariens), les nématicides (contre les nématodes), les rodenticides (contre les rongeurs), les taupicides (contre les taupes), les molluscicides (contre les limaces et les escargots) et les corvicides et les corvifuges (contre les corbeaux) (Bourbia-Ait Hmelet, 2013).

II.3.2. Selon la famille chimique

La deuxième classification se base sur la nature chimique de la substance active majoritaire qui compose les produits phytosanitaires. Les principaux groupes chimiques comprennent, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthriinoïdes, les triazines, les urées substituées (El-Mrabet, 2008). Les herbicides, les fongicides et les insecticides, où se trouve une exceptionnelle diversité de familles chimiques comportent des groupes divisés en sous-groupe : les produits inorganiques et les produits organiques (naturels ou synthétiques) (Rahoui, 2012).

II.3.3. Selon le mode d'action

La classification par mode d'action se base sur le mode d'action des pesticides sur les organismes cibles. Ces différents modes d'actions sont illustrés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Classement des pesticides par mode d'action (Bonnefoy, 2012).

Herbicides	
Par contact	Agit sur les parties de la plante avec lesquelles il entre en contact.
Systemique	Absorbé par la plante, se déplace à l'intérieur de celle-ci.
Sélectif	Ne contrôle que certaines plantes traitées.
Non-sélectif	Contrôle toutes les plantes traitées.
Résiduaire	Se dégrade lentement et contrôle les plantes sur une longue période.
Non- résiduaire	Il est rapidement inactif après son application et ne contrôle les plantes que sur une courte période.
Fongicides	
Préventif	Protège la plante en empêchant que la maladie ne se développe.
Curatif	Réprime une maladie qui est déjà développée.
Insecticides	
Par contact	Agit lorsque l'insecte entre en contact avec le produit.
Par inhalation	Agit lorsque l'insecte respire le produit.
Par ingestion	Agit lorsque l'insecte se nourrit du produit.

II.4. Inconvénients des pesticides

Les propriétés toxiques des pesticides qui les rendent efficaces contre les plantes, insectes ou rongeurs indésirables, sont aussi dangereux pour le corps humain car ils partagent de nombreuses réactions chimiques avec ces organismes naturels. Ils peuvent pénétrer dans l'organisme et peuvent nuire à la santé des travailleurs/euses et du public ainsi qu'à la faune et à la flore sauvages et à l'environnement en général (Hurst et Kirby, 2004).

Environ 2,5 millions de tonnes de pesticides sont appliqués chaque année sur les cultures de la planète. La part qui entre en contact avec les organismes indésirables cibles est

minime. La plupart des chercheurs l'évaluent à moins de 0,3%, ce qui veut dire que 99,7% des substances déversées s'en vont «ailleurs» (Van der Werf, 1997).

II.4.1. Effet sur la santé

Les pesticides engendrent différents effets qui peuvent apparaître juste après une exposition (effet aigu) ou n'apparaître qu'après un certain moment (effet chronique). Les conséquences peuvent varier en gravité et en intensité. Les pesticides peuvent causer, par exemple, des irritations (conséquence aigüe) ou encore des cancers (conséquence chronique) (Tableau 4) (Hurst et Kirby, 2004).

Tableau 4: Exemples des conséquences de certains pesticides sur la santé (Hurst et Kirby,2004).

Type de pesticide	Caractéristiques	Conséquences
Le paraquat (herbicide)	-Très utilisé dans le monde -Extrêmement toxique -Antidote à faible efficacité	-Conséquences sur plusieurs organes du corps parfois mortelles (cause de décès dû à une fibrose mortelle)
Le Thiram (Fongicide)	-Matière active sous forme de poudre. -Impacte beaucoup plus les travailleurs.	-Provoque des dermatites de contact (exposition des travailleurs) -Irritations modérées des yeux, peau, muqueuses respiratoires humaines

II.4.2. Effet sur l'environnement

Les effets des pesticides sur la faune et la flore sauvages sont étroitement liés au type d'agriculture pratiqué. L'étendue et l'intensification de l'agriculture, qui impliquent une utilisation accrue de pesticides et d'engrais artificiels, ont eu des impacts négatifs sur l'abondance et la diversité des espèces de la faune et de la flore sauvages et sur la qualité de l'environnement (Hurst et Kirby, 2004).

C'est le manque de sélectivité des pesticides vis-à-vis de leur cible qui provoque la plupart des effets nocifs pour l'environnement. Les animaux absorbent les pesticides via la nourriture ou l'eau d'alimentation, via l'air respiré ou à travers leur peau ou de leur cuticule. Ayant franchi diverses barrières, le toxique atteint les sites du métabolisme où il est stocké (Van der Werf, 1997).

On s'accorde très généralement sur le fait que l'impact environnemental d'un pesticide dépend du degré d'exposition (résultant de sa dispersion et de sa concentration dans l'environnement) et de ses caractéristiques toxicologiques (Van der Werf, 1997).

II.5. Impact sur la fertilité du sol

Le traitement intensif du sol par des pesticides peut entraîner le déclin des populations de microorganismes bénéfiques du sol. Si l'on perd les bactéries et les champignons, le sol se dégrade. L'emploi aveugle des produits chimiques n'est pas plus bénéfique pour les organismes du sol (Aktar et *al.*,2009).

Par exemple, beaucoup de microorganismes transforment le nitrogène de l'atmosphère en nitrates, une forme plus assimilable par les plantes. Plusieurs herbicides qui peuvent chambouler ce processus : le glyphosate réduit la croissance et l'activité des bactéries fixatrices d'azote dans le sol (Aktar et *al.*,2009).

Les collemboles exercent de façon directe ou indirecte d'innombrables fonctions dans le sol, essentiellement liée à leur activité trophique et font partie des actionnaires de la fertilité du sol. Ils sont souvent victimes d'insecticides qui engendrent une diminution dans leur abondance et leur diversité. Une modification structurale de leur communauté liée à leur sensibilité a été constatée. Des études morphologiques ont prouvé que les espèces adaptées à des horizons différents sont plus vulnérables car contrairement à celles qui vivent en surface, elles ne peuvent fuir leur milieu aussi aisément (Salmon, 2017).

II.6. Devenir des pesticides dans l'environnement

Lors des traitements aux pesticides sur la surface du sol ou sur les plantes, on constate une fuite en dehors des espaces voulus qui est principalement liée à la volatilisation. Les pertes engendrées sont quasiment plus grandes par rapport à celles provoquées par la dégradation chimique, le ruissellement et la lixiviation. La dispersion des pesticides sur la Terre est engendrée principalement par le transport et le dépôt aérien (Van der Werf, 1997).

Plusieurs processus déterminent le devenir d'un pesticide dans le sol : la dégradation par les microorganismes et la dégradation chimique, l'absorption par les racines de plantes, la rétention par des composants organiques et minéraux, la volatilisation et les effets de dilution par les mouvements de l'eau (Figure 2) (Van der Werf, 1997).

Les pesticides dans le sol sont peu mobiles grâce au phénomène d'absorption sur les particules du sol. Ce sont les propriétés physico-chimiques propres à chacun qui conditionnent l'intensité des interactions entre le sol et la substance active. Bien sûr, l'absorption de la matière active n'est pas irréversible car un changement des conditions (le pH par exemple) peut provoquer une désorption, laissant libre cours aux impacts négatifs sur les organismes vivants ou encore migrer jusqu'aux eaux superficielles et souterraines (Periquet, 2004).

La dispersion par le biais de l'eau dans le milieu peut se faire soit par lavage des feuilles ou par ruissellement et lixiviation. Pendant que la lixiviation engendre la pollution des eaux profondes, le ruissellement, lui, engendre celle des eaux de surface. C'est en suivant les gradients hydrauliques que l'eau de surface alimente les aquifères, et vice versa. De ce fait, un pourcentage de pesticides des eaux superficielles peut pénétrer dans les eaux souterraines (Van der Werf, 1997).

Le taux de lixiviation des pesticides dans le sol décroît avec la teneur en matière organique de ces sols et l'épaisseur de l'horizon supérieur à forte activité biologique. Les macropores favorisent l'entraînement des pesticides par lixiviation, lesquels sont entraînés rapidement vers le sous-sol et la nappe, court circuitant une très grande partie du sol (Van der Werf, 1997).

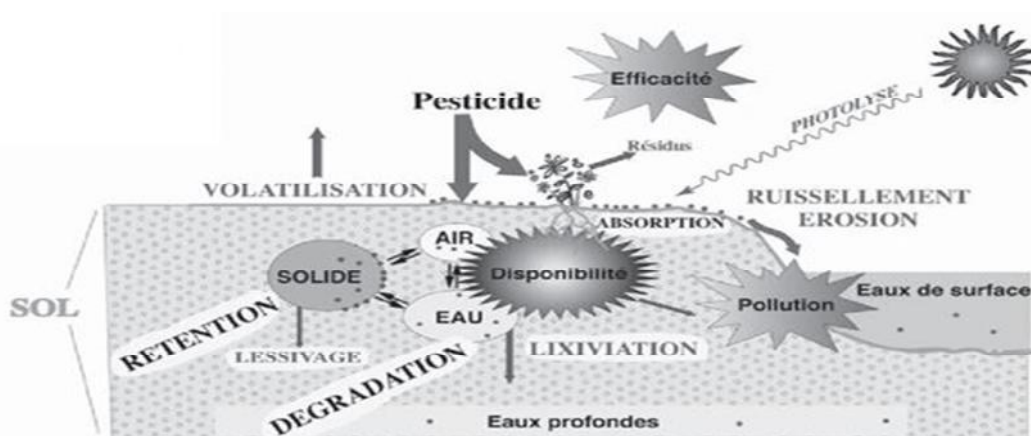


Figure 2:Processus impliqués dans le devenir des pesticides dans les sols (Barriuso et *al.*, 1996).

La dégradation biotique des pesticides dans le sol et dans les eaux, est réalisée par la microflore présente dans ces milieux et consiste en des transformations chimiques dues à leurs systèmes enzymatiques. Les réactions de dégradation des pesticides peuvent se dérouler à l'intérieur et/ou à l'extérieur des microorganismes (Calvet et *al.*, 2005). Les principales réactions qui se traduisent sont des réactions d'oxydo-réductions, d'hydrolyses et de synthèses (conjugaison ou polymérisation) (Yaron, 1989). Cependant la synthèse d'enzymes actives peut être influencée par la nature chimique et la concentration des produits, et par les conditions environnementales, notamment pédoclimatique comme la nature de la matière organique, le pH et la température du milieu, la granulométrie du sol et sa teneur en eau et en air (Walker, 1976).

Chapitre II

Matériel et méthodes

Le présent travail fait suite à l'étude réalisée en 2019 relative à l'effet des pesticides sur la faune du sol dans une région du domaine viticole algérien (Baghlia). La méthodologie adoptée a consisté en l'extraction de la pédofaune à partir d'échantillons de sols prélevés dans les vignobles de la région suscitée. Notre travail a porté sur une un groupe de la faune extraite à savoir celui des collemboles.

II.1. Echantillonnage

La méthode d'échantillonnage du terrain adoptée est illustrée par la figure 3 afin de capturer les différents organismes du sol du milieu d'étude.

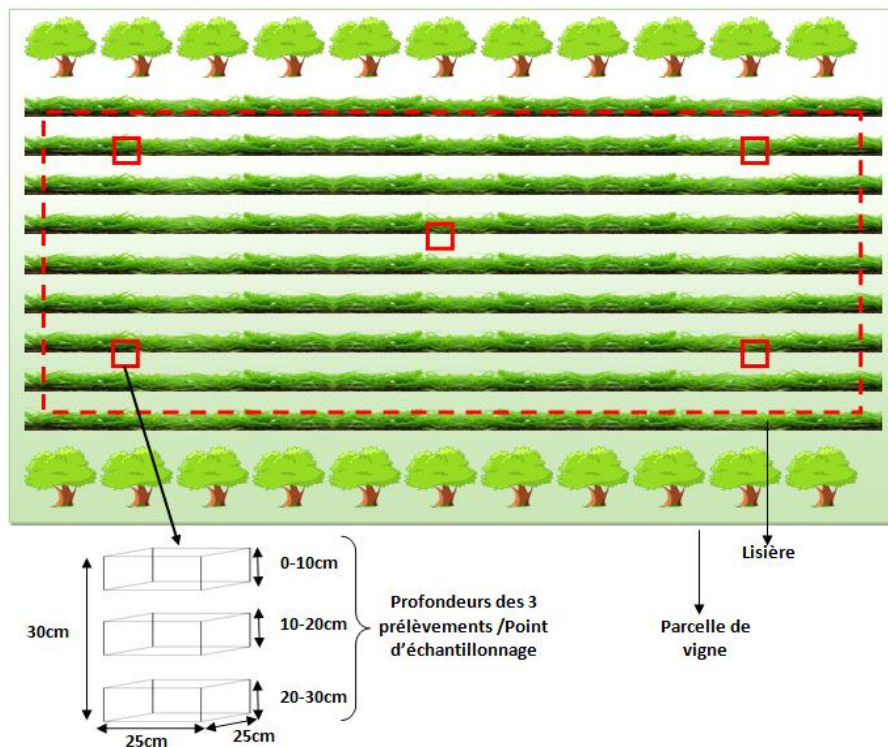


Figure 3 : Schéma représentatif de la méthode d'échantillonnage sur le terrain

Ainsi, dans la parcelle de vigne, cinq points se situant à des distances différentes et à des profondeurs différentes ont été retenus. Le prélèvement des échantillons du sol a été réalisé au moyen d'un quadrat de 25x25 cm de dimension.

L'échantillonnage des divers niveaux du sol a été fait sur 0 à 30 cm de profondeur répartis comme suit :

- De 0 à 10 cm : est le premier niveau (N1) qui représente la première couche de profondeur (P1).
- De 10-20 cm : est le deuxième niveau (N2) qui représente la deuxième couche de profondeur (P2).
- De 20-30 cm : est le troisième niveau (N3) qui représente la troisième couche de profondeur (P3).

Nous représentons dans la figure suivante les différentes étapes d'échantillonnage sur le site de prélèvement :



Figure 4: Différentes étapes d'échantillonnage

Cet échantillonnage s'est effectué sur trois périodes suivant l'utilisation des produits phytosanitaires (fongicide) dans le vignoble :

Période 1: représente la période avant traitement par les produits phytosanitaires (Avril).

Période 2: représente la période pendant traitement par les produits phytosanitaires (Juin).

Période 3 : représente la période après traitement par les produits phytosanitaires (Août).

II.2. Caractéristiques du sol

Pour l'étude analytique des sols, les échantillons ont été séchés à l'air libre, puis broyés et tamisés avec un crible de 2 mm de diamètre.

Les résultats des analyses physiques et chimiques sont donnés dans le tableau 5.

Tableau5 : Caractéristiques physiques et chimiques du sol étudié (Belkhefha et Abdous,2019)

Les résultats rapportés dans le tableau 5 montrent que le pH de ce sol est alcalin, c'est un sol

Analyse physique				Analyses chimique		
Argile%	limon fin%	sable fin %	sable grossier%	pH	calcaire Total	Carbone organique
43	30,5	10	14	8	8,7	0,84

modérément calcaire et moyennement pourvu en matière organique. Les résultats de l'analyse granulométrique a révélé que le sol de cette région appartient à la classe texturale argilo-limoneuse.

II.3. Utilisation de l'appareil de Berlèse-Tullgren

Comme pour le reste de la faune du sol, la méthode classique de Berlèse-Tullgren a été appliquée pour extraire les collemboles de leur substrat en modifiant leurs conditions de vie au moyen d'agents thermodynamiques qui sont l'éclairage et l'élévation de la température. Ces derniers permettent d'extirper les animaux de l'échantillon.

Le principe consiste à placer un échantillon du sol sur un tamis à larges mailles posé sur un entonnoir. Cette technique permet à cette faune de migrer vers le récipient collecteur contenant de l'alcool 70° (Figure 5).



Figure 5: Appareil de Bérlèse-Tullgren modifié.

II.4. Détermination des taxons

L'identification des collemboles a été faite en utilisant plusieurs clés d'identification telles que :

- La clé de détermination et classification des animaux du sol, de Molinatti, Urgelli et Charron, mise en forme par Marciniak (Annexe 2).
- La clé de détermination de familles de Garcelon : <https://collemboles.fr/>>Accueil>Classification > Détermination de familles.

Ajouté à ceci, l'aide précieuse qui nous a été apportée par Mme Bounoua, MAA à l'UMMTO.

II.5. Analyse écologique

Nous avons utilisé plusieurs indices de la diversité fonctionnelle, à savoir :

II.5.1. Abondance relative

L'abondance relative est le rapport du nombre des individus de l'espèce prise en considération au nombre total des individus de toutes les espèces confondues (Heip et *al.*, 1998). Elle est évaluée par la formule suivante:

$$Abr = Ni/N * 100$$

Abr : quantité d'une espèce *i* par rapport au nombre total d'espèces dans un milieu donné.

Ni : nombre d'individu de l'espèce (*i*)

N : effectif total des individus de toutes les espèces.

I.5.2. Indice de Shannon-Weaver (H')

Selon DAJOZ (2006), H' permet d'évaluer la diversité faunistique d'un milieu donné et de comparer la faune de différents milieux, malgré la variation du nombre d'individus récoltés. Il est exprimé en bits et est calculé par la formule suivante :

$$H' = -\sum p_i \log p_i$$

Une communauté est d'autant plus diversifiée que l'indice de Shannon-Weaver (H') sera plus grand.

II.5.3.Équitabilité (*E*)

L'équitabilité correspond au rapport entre la diversité observée (H') et la diversité maximale (H_{\max}). Elle est donnée par la formule suivante :

$$E = H' / H_{\max}$$

Avec $H_{\max} = \log S$ où S est la richesse totale.

D'après Ramade (1984), l'équitabilité varie de 0 à 1. Si E tend vers 0, ça signifie qu'il y a dominance de quelques espèces ; mais si (E) tend vers 1, toutes les espèces présentent la même dominance.

II.6. Analyses statistiques

Afin d'évaluer l'impact des produits phytosanitaires sur les collemboles, nous avons opté pour des analyses statistiques appropriées à notre thème d'étude, réalisées avec le logiciel 'Statistica'.

Dans la présente étude, nous avons utilisé l'ANOVA à un seul facteur (période), réalisée dans le but de déterminer l'abondance des espèces de collemboles en fonction de trois périodes différentes. Dans le cas significatif, cette analyse est complétée par le test de Newman et Keuls qui permet la comparaison des moyennes puis la détermination des groupes homogènes.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1. Résultats

Afin d'évaluer les effets des pesticides sur la faune d'un sol viticole, nous avons identifié tous les individus appartenant à la classe des collemboles, précédemment récoltés. Les résultats obtenus sont comme suit :

III.1.1. Composition de la classe des Collemboles

L'identification des collemboles extraits du sol du vignoble a révélé la présence des deux ordres à savoir l'ordre des Entobryomorpha représenté par cinq espèces et celui des Poduromorpha représenté par deux espèces (Tableau 6).

Tableau 6: Espèces identifiées dans chaque ordre recensé.

Ordres	Familles	Genres	Espèces
Entomobryomorpha	Isotomidae	<i>Cryptopygus</i>	<i>Cryptopygus thermophylus</i>
		<i>Folsomia</i>	<i>Folsomia quadrioculata</i>
		<i>Isotomiella</i>	<i>Isotomiella minor</i>
		<i>Proisotoma</i>	<i>Proisotoma minuta</i>
	Entomobryidae	<i>Lepidocyrtus</i>	<i>Lepidocyrtus cyaneus</i>
Poduromorpha	Onychiuridae	<i>Onychiuridae</i>	<i>Onychiuridae sp.</i>
		<i>Protaphorura</i>	<i>Protaphorura gr. armata</i>

D'après les résultats rapportés dans le tableau 5, nous constatons que l'ordre des Entomobryomorpha est représenté par 2 familles : Isotomidae et Entomobryidae. La famille d'Isotomidae est caractérisé par la présence de 5 genres et une espèce par genre qui sont : *Cryptopygus thermophylus*, *Folsomia quadrioculata*, *Isotomiella minor*, *Proisotoma minuta* et *Lepidocyrtus cyaneus*. L'ordre de Poduromorpha est représenté par une seule famille :

Onychiuridae qui est caractérisé par la présence de deux genres et deux espèces qui sont *Onychiuridae sp.* et *Protaphorura gr. armata*.

III.1.2. Effets des pesticides sur l'effectif de la faune des Collemboles de la parcelle du vignoble étudié

Après avoir identifié les collemboles de la parcelle de vigne, nous avons constaté un nombre total d'individu de 682, avant le traitement par les produits phytosanitaires. Nous observons ensuite, pendant la période de traitement une forte diminution du nombre d'individus atteignant 8 individus.

Après la période de traitement, nous constatons une recolonisation du milieu par les collemboles qui montrent une remontée jusqu'à 196 individus (Figure 6).

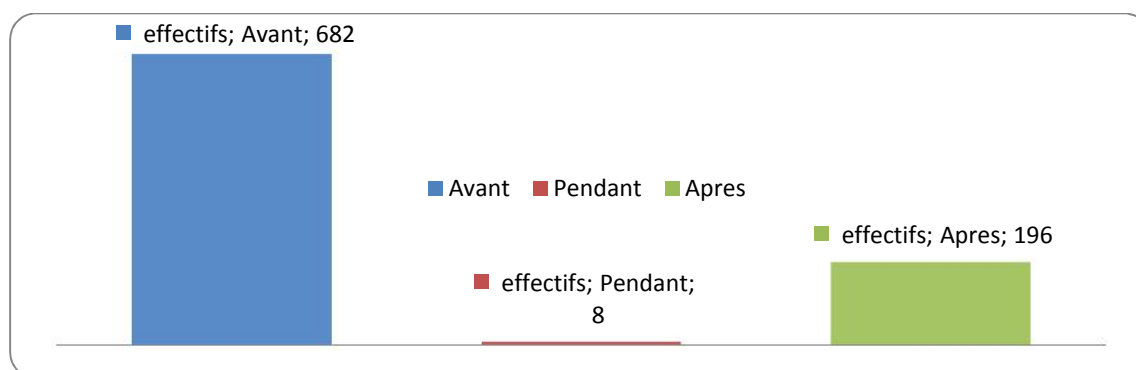


Figure 6: Effectif total des collemboles pendant les trois périodes de traitement.

III.1.3. Abondance des différentes espèces recensées dans la parcelle d'un sol viticole

La figure ci-dessous représente l'ensemble des espèces recensées dans le sol viticole durant trois périodes de traitement (avant, pendant, après). Par comparaison du nombre d'individus de chacune des espèces avant la période de traitement, nous constatons une dominance de certaines espèces par rapport à d'autres. Ainsi, pour l'ordre des Poduromorpha c'est l'espèce *Onychiuridae sp.* qui domine avec un nombre de 244 individus, suivie de l'espèce *Protaphorura gr. armata* avec un effectif total de 161 individus (figure 7, A). L'espèce *Lepidocyrtus cyaneus* est la plus réduite avec un nombre de 7 individus (figure 7, B).

Pour l'ordre des Entomobryomorpha, c'est l'espèce *Isotemiella minor* qui domine avec 239 individus (figure 7, A) suivie de *Folsomia quadrioculata* avec une abondance de 26 individus. Les autres espèces, quant à elles, sont très réduites en nombre (figure 7, B).

Cependant, si nous comparons de façon globale les différentes espèces des deux ordres, nous constatons que c'est l'espèce *Onychiuridae sp.* qui domine dans l'ensemble de la classe (figure 7).

Notons que, ces abondances diminuent lors des traitements aux produits phytosanitaires et pratiquement toutes les espèces sont éliminées pendant cette phase.

De même, nous constatons que ce sont les espèces *Onychiuridae sp.* et *Isotemiella minor* qui recolonisent plus rapidement le milieu après la période de traitement. Les chiffres montrent un nombre respectif d'individus de 93 et 45. Les autres espèces recolonisent moins vite le sol et d'autres encore disparaissent complètement de la communauté telles que: *Lepidocyrtus cyaneus* et *Cryptopygus thermophytus* (Figure 7).

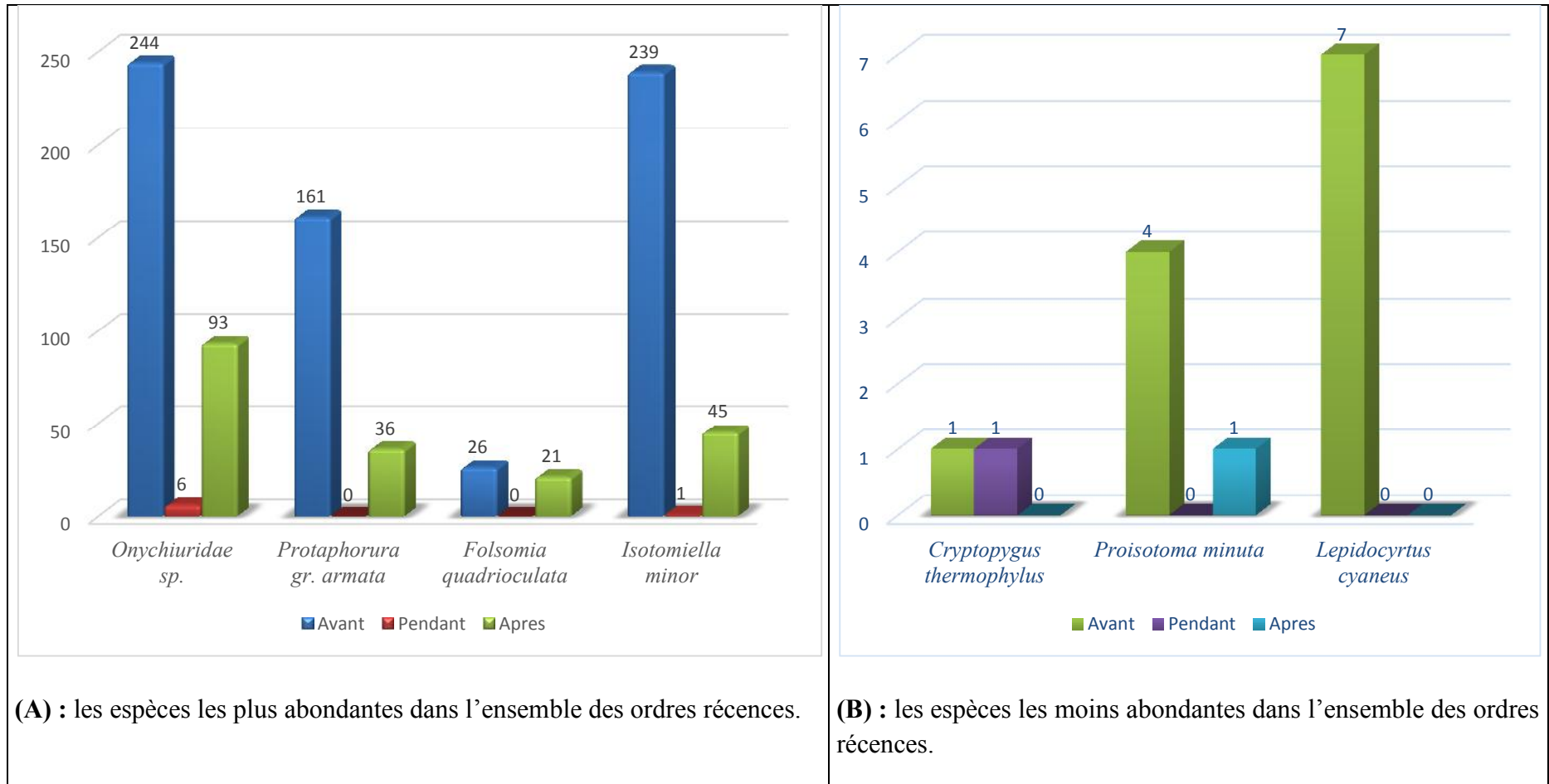


Figure 7 : Abondance des espèces de collemboles récentes dans le sol viticole (avant, pendant et après) le traitement aux pesticides

III.1.4. Abondance relative

La figure 8 représente les diverses abondances relatives des espèces recensées dans le sol du vignoble pendant les trois périodes (avant, pendant et après traitement).

Les espèces qui présentent les taux les plus élevés sont: *Onychiurdae sp.* avec un taux 35,78% ; 75% ; 47,45% ; suivant les périodes (avant, pendant et après traitement), suivie de *Isotomiella minor* avec des taux de 35,04% ; 12,5% ; 22,96%. Ensuite vient l'espèce *Protaphorura gr. armata* avec des taux de 23,6% ; 0%, 18,37%.

Les espèces qui ont montré de faibles abondances relatives dans le sol viticole sont: *Cryptopygus thermophilus*, *Folsomia quadriculata*, *Proisotoma minuta*, *Lepidocyrtus cyaneus*.

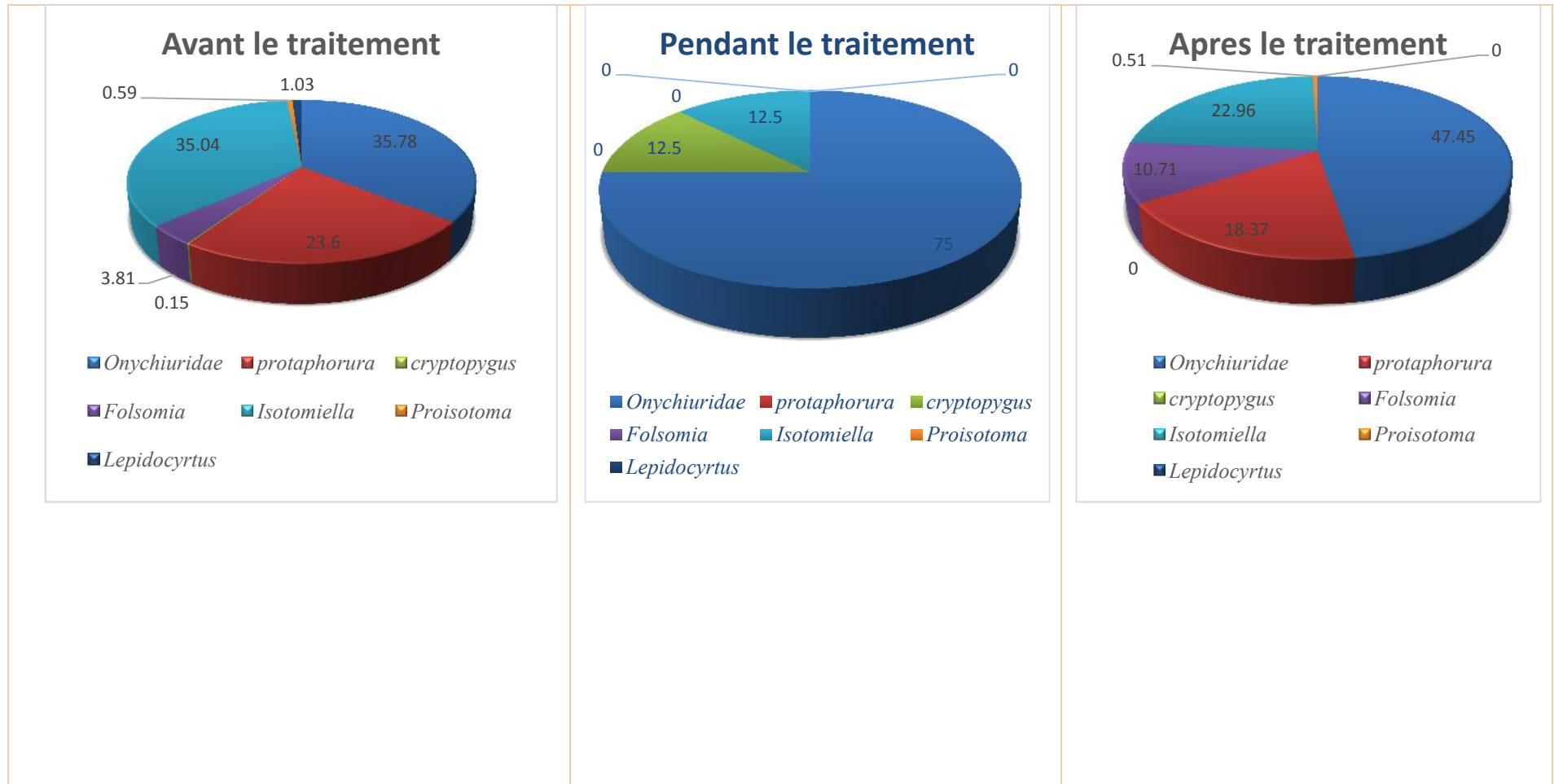


Figure 8: Abondance relative des espèces de collemboles recensées durant les trois périodes de traitement (avant, pendant et après).

III.1.5. Indice de Shannon-Weaver (H') et Equitabilité (E)

Afin de mettre en évidence la diversité des collemboles durant une période donnée (avant, pendant et après traitement aux produits phytosanitaires), nous avons opté pour le calcul de l'indice de diversité de Shannon suivi de l'indice d'Équitabilité (Tableau 5).

Tableau 7: Indice de Shannon-Weaver (H') et d'Equitabilité (E) pour l'ensemble des espèces pendant les trois périodes (avant, pendant, après)

Indices/ Période	Avant	Pendant	Après
H'	1.29	0.74	1.27
E	0.66	0.70	0.80

En visualisant le tableau, nous constatons que les valeurs les plus élevées de l'indice de Shannon sont enregistrées avant le traitement (1.29) et après le traitement (1.27). En revanche, pendant la période de traitement, nous constatons une nette diminution de l'indice de Shannon qui atteint une valeur de 0.70.

En ce qui concerne l'indice d'équitabilité E, il tend vers 1 dans chacune des trois périodes. On observe ainsi, une valeur de 0.66 avant le traitement, une valeur de 0.70 pendant le traitement et une valeur de 0.80 après traitement.

III.1.6. Analyse de la variance selon la période de traitement :

L'analyse de la variance à un facteur pour la variable d'abondance d'individus de chaque espèce pendant les trois périodes avant, pendant, après traitement par les pesticides a donné les résultats représentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 8: Résultats du test d'ANOVA à un seul facteur (période) pour *Onychiuridae sp.*

Effet	SC	Degr .de liberté	MC	F	P
Ord .origine	7843,27	1	7843,267	8.440578	0,013197
Période	5800,93	2	2900,67	3,121355	0,081012
Erreur	11150,80	12	929,233		

Tableau 9: Résultats du test d'ANOVA à un seul facteur (période) pour *Protaphorura gr. armata*

Effet	SC	Degr .de liberté	MC	F	P
Ord .origine	2587,267	1	2587,267	8,917509	0,011354
Période	2856,133	2	1428,067	4,922105	0,027483
Erreur	3481,600	12	290,133		

Tableau 10: Résultats du test d'ANOVA à un seul facteur (période) pour *Cryptopygus thermophilus*

Effet	SC	Degr .de liberté	MC	F	P
Ord .origine	0,266667	1	0,266667	2,000000	0,182717
Période	0,133333	2	0,066667	0.500000	0,618625
Erreur	1,600000	12	0,133333		

Tableau 11: Résultats du test d'ANOVA à un seul facteur (période) pour *Folsomia quadrioculata*

Effet	SC	Degr .de liberté	MC	F	P
Ord .origine	147,2667	1	147,2667	8,196660	0,014275
Période	76,1333	2	38,0667	2,118738	0,162921
Erreur	215,6000	12	17,9667		

Tableau 12: Résultats du test d'ANOVA à un seul facteur (période) pour *Isotomiella minor*

Effet	SC	Degr .de liberté	MC	F	P
Ord .origine	5415,000	1	5415,000	21,30771	0,000594
Période	6414,400	2	3207,200	12,62015	0,001119
Erreur	3049,600	12	254,133		

Tableau 13: Résultats du test d'ANOVA à un seul facteur (période) pour *Proisotoma minuta*

Effet	SC	Degr .de liberté	MC	F	P
Ord .origine	1,666667	1	1,666667	2,631579	0,130719
Période	1,733333	2	0,866667	1,368421	0,291515
Erreur	7,600000	12	0,633333		

Tableau 14: Résultats du test d'ANOVA à un seul facteur (période) pour *Lepidocyrtus cyaneus*

Effet	SC	Degr .de liberté	MC	F	P
Ord .origine	3,26667	1	3,266667	2,279070	0,157004
Période	6,53333	2	3,266667	2,279070	0,144883
Erreur	17,20000	12	1,433333		

Les résultats de l'analyse de variance ont montré que les pesticides n'ont pas eu un effet significatif sur le nombre d'individus pour chacune des espèces (*Onychiuridae* sp., *Cryptopygus thermophilus*, *Folsomia quadrioculata*, *Proisotoma minuta*, *Lepidocyrtus cyaneus*) ($P > 5\%$).

Pour les espèces *Protaphorura gr. Armata* et *Isotomiella minor*, les analyses de variances ont indiqué que les pesticides ont eu un effet significatif sur le nombre d'individus de chaque espèce $P=0,02$ au seuil de 5% *Protaphorura gr. armata* et $P=0,001$ au seuil de 5% pour *Isotomiella minor*.

Les tableaux 15 et 16 représentent les résultats obtenus par le test de Newman et Keuls. Les différentes périodes ont été classées en deux groupes homogènes. La période T1 (avant le traitement) est classée dans le groupe 2 avec un effectif plus important par rapport aux autres périodes T2 et T3 (pendant et après traitement) classées quant à elles, dans le même groupe.

Tableau 15: Résultats du test Newman-Keuls pour l'espèce *Protaphorura gr. armata*

Cellule	Periodes	Var 2	
		Moyenne	
		1	2
2	T2	0.00000	****
3	T3	7,20000	****
1	T1	32,20000	****

Tableau 16: Résultats du test Newman-Keuls pour l'espèce, *Isotomiella minor*

Cellule	Périodes	Var 2	1	2
		Moyenne		
2	T2	0.20000	****	
3	T3	9,00000	****	
1	T1	47,80000		****

III.2. Discussion

Les agriculteurs utilisent divers produits pour éliminer les ravageurs, les maladies fongiques et les mauvaises herbes afin de répondre aux exigences de la production viable (Samuel et Saint-Laurent, 2001).

L'utilisation des pesticides engendre une diminution de la communauté vivante du sol. Notre recherche nous a permis de mettre en évidence les effets des pesticides sur la classe des collemboles qui détiennent un rôle important pour la vie en sous-sol et dans l'écosystème.

Les résultats obtenus dans le sol viticole montre des effectifs très faibles dans la communauté des collemboles. Dans une étude de deux zones humides du nord de l'Algérie : la mare aux canards située au niveau du parc national d'El Kala (Wilaya d'El Taref) et la mare de Boumessaoud (Grande Kabylie, Wilaya de Tizi-ouzou), il a été révélé un nombre assez élevé d'individus et une importante richesse spécifique des collemboles de l'ordre de 41 espèces (Bounoua, 2012). Cette différence peut se traduire par le fait que le sol agricole, objet de notre étude, reçoit, chaque année, des traitements par des pesticides ; ce qui impacterait la richesse et la diversité des collemboles du sol.

Les pesticides auraient donc un impact négatif sur la diversité et la dominance de la communauté des collemboles mais également sur la population des diverses espèces au sein de la communauté vivant à la surface du sol et dans les sous-sols. Dans le sol viticole, deux ordres ont été recensés à savoir les Poduromorpha et les Entobryomorpha, avec une diversité d'espèces plus élevée chez les Entobryomorpha où l'espèce dominante est *Isotomiella minor*. Pour les Poduromorpha, seules deux espèces ont été recensées. Cependant, l'espèce dominante *Onychiurdae sp.* présente une densité légèrement plus élevée. Néanmoins, une dominance unique des Entobryomorpha à la surface a été observée, alors que les

Poduromorpha ont été très peu recensés. Cela est probablement dû à l'échantillonnage adopté où le sous-sol n'a pas été prélevé (Bounoua, 2012).

Dans le sol viticole de la région de Baghlia, nous avons recensé deux ordres : les Poduromorpha et les Entobryomorpha. Nous avons constaté une diversité plus conséquente chez les Entobryomorpha que chez les Poduromorpha. De plus, la dominance des *Isotomiella minor* a été observé chez les Entobryomorpha, et d'*Onychiurdaesp.* chez les Poduromorpha dont la densité est légèrement plus élevée. Néanmoins, l'étude des deux zones humides a révélé la dominance unique des Entobryomorpha, alors que les Poduromorpha ont été très peu recensés. Cela est probablement dû à l'échantillonnage utilisé, ou le sous-sol n'a pas été prélevé.

La biodiversité des collemboles relevée dans deux milieux viticoles de deux régions méditerranéennes a également été comparée à celle observée sous d'autres usages du sol. Les résultats laissent apparaître une biodiversité des microarthropodes du sol nettement plus faible dans les vignobles étudiés par rapport à d'autres usages (prairies, forêts), mais comparable à celle observée en grandes cultures (Vitinnov et Giffard, 2017).

Dans le sol viticole, durant la période après traitement aux pesticides, nous avons constaté une légère recolonisation, avec une diversité et une abondance d'espèces réduites par rapport à la période d'avant traitement avec une dominance de certaines espèces qui sont *Onychiurdae sp.* et *Isotomiella minor*. L'étude de l'impact d'un type de pesticide (insecticides) sur la communauté des araignées et des collemboles dans une parcelle de prairie de montagne, en comparant les divers indices pendant le control simple des collemboles et après ajout d'insecticides, a fait ressortir que la diversité des espèces et la richesse spécifique des collemboles ont diminué. En revanche, l'abondance de la communauté de cette classe a été avantagée par l'utilisation de l'insecticide surtout dans le cas d'une espèce qui avait recolonisé le milieu plus fortement après l'application de ce pesticide par rapport à ce qui a pu être observé avant (période de control) (Fountain et al., 2007). Ainsi, l'effet des pesticides sur la biodiversité et sur l'abondance des collemboles et la possibilité de recolonisation peuvent différer selon le type de pesticide utilisé.

Cependant, l'utilisation des microarthropodes en tant que bio indicateurs de la qualité biologique du sol, pour évaluer les effets d'usage des sols dans les milieux viticoles a été peu étudié (Vitinnov et Giffard, 2017).

Conclusion

L'objectif de notre travail consiste à déterminer l'impact des résidus des pesticides sur les collemboles du sol de vignobles afin de répondre à la problématique des effets des pesticides sur la faune du sol.

A travers les résultats obtenus, nous pouvons affirmer que l'utilisation des pesticides affecte la communauté des collemboles.

Sur la parcelle du vignoble, nous avons noté un effectif total de 682 individus dans l'entité de la classe étudiée. Nous y avons également recensé sept espèces: *Onychiurdaesp.*, *Protaphorura gr. armata*, *Cryptopygusthermophylus*, *Folsomiaquadrioculata*, *Isotomiellaminor*, *Proisotoma minuta*, *Lepidocyrtuscyaneus*, réparties de façon hétérogène dans deux ordres : les Poduromorpha et les Entobryomorpha. Lors de la période de traitement, nous avons constaté une importante diminution des effectifs pour chaque espèce, jusqu'à atteindre un nombre total de 8 individus.

Nous avons aussi constaté la dominance en effectif de *Onychiuridaesp.* chez les Poduromorphas et de *Isotomiellaminor* chez les Entobryomorpha.

Cependant, après traitement nous avons remarqué une légère recolonisation correspondant à un nombre total de 196 individus. En ce qui concerne les espèces recensées durant cette phase, nous notons la dominance des mêmes espèces à savoir *Onychiurdae sp.* et *Isotomiellaminor*.

L'étude s'est limitée à l'évaluation de l'impact des résidus seulement sur les collemboles du sol. Pour mieux connaître ces impacts, il faut prendre en compte plusieurs autres paramètres tels que:

- Les interactions qui lient les collemboles à d'autres classes appartenant au même milieu.
- Les interactions avec la diversité microbologique et leurs diverses activités. De quelles activités ?
- L'étude des collemboles en prenant en compte les facteurs du milieu (exemple: teneur en matière organique, valeur du pH du sol etc.)

Ces résultats néanmoins, donnent accès à de nouvelles pistes de recherche portant sur un suivi plus détaillé des collemboles notamment l'identification de toutes les espèces afin de déduire celles qui seraient de potentiels bio indicateurs de cette pollution.

Au vu de l'impact de ces produits sur le sol et sa biodiversité, nous devons également penser à d'autres alternatives pour minimiser l'utilisation des pesticides en agriculture, pour en garantir la durabilité tout en préservant ses objectifs. Certains pays, ont déjà adopté un ensemble de mesures alternatives, comme:

- L'utilisation des auxiliaires de cultures dans la lutte contre les ravageurs.
- Le travail du sol sans labour pour une meilleure qualité du sol.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Auclerc A., 2017:collemboles arthropléones. Laboratoire sol et environnement, Université de Lorraine et INRA. Disponible sur :

<http://ephytia.inra.fr/fr/C/25145/jardibiodiv-Collemboles-arthropleones>consulté le22-10-2020

2. Aktar W., Sengupta D., Chowdhury A., 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*. 2(1):1-14.

Disponible sur:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2984095/>

3. AyadMokhtari N., 2012. Identification et dosage des Pesticides dans l'Agriculture et les problèmes d'Environnement liés. Mémoire de Magister, université d'Oran, Algérie, 86p.
4. Babaci F., Oudjoudi Y., 2019. Effet des pesticides sur la pédofaune : cas de vignoble de Baghlia et Dellys wilaya de Boumerdés. Mémoire de Master, université de Tizi-Ouzou, Algérie, 37p.
5. Bachelier G., 1963. La vie animale dans les sols. Ed .O.R.S.T.O.M, Paris, France, 279 p.
6. Belkhelfa ., Abdous.,2019. Caractéristiques physiques et chimiques des sols sous vignes traitées. Mémoire de master, université de Tizi-Ouzou, Algérie, 33P
7. Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., Soulas G., 1996. Les pesticides et les polluants organiques des sols : Transformations et dissipation. *Etudes et Gestion des Sols*, numéro spécial : Le sol, un patrimoine menacé ?. 3(4): 279-295.
8. Bispo A., Bougon N., Eglin T., Gascuel C., Gelin S., Jaillard B., Ranjard L., Schnebelen N., 2018. De la connaissance de la biologie des sols et de ses fonctions, à son pilotage. INRA, 108p.
9. Bonetti M., Fritsch J., Godet L., Grenet L., Perrin C., Perry M., Rosin L., Schaub B., Sueur M., Silvente C., 2016. Caractérisation de la biodiversité du sol. Rapport final, université de la Lorraine, France, 46p.

10. Bonnefay N., 2012. Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur les pesticides et leur impact sur la santé et l'environnement .Tome 1.Sénat N°42, 348p.
11. Boulanger-fassier S., 2008. La viticulture durable, une démarche en faveur de la pérennisation des territoires viticoles français ?. Agriculture et durabilité territoire. Open édition journalsGaocarrifour, 83(3): 181-190.
12. Bounoua S., 2006. Biodiversité et distribution des Collemboles de deux zones humides : mare aux canards (El Kala) et mare de Boumessaoud (Grande Kabylie). Mémoire de Magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie, 92p.
13. Bourbia Ait-Hamlet S., 2013. Evaluation de la toxicité de mixture de pesticides sur un bioindicateur de la pollution des sols *H. aspersa*. Thèse Doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba, 110p.
14. Citeau L., Bispo A., Bardy M., King D., 2008. La gestion durable des sols. Ed. Quae, Versailles, France, 336p.
15. Dajoz R., 2006. Précis d'Ecologie. Ed Dunod, Paris, France, 218 p.
16. Deprince A., 2003. La faune du sol, diversité, méthodes d'étude, fonction et perspective. Le courrier de l'environnement de l'INRA n°49 : 123-138.
17. El-Mrabet K., 2008. Les pesticides. Laboratoire national de météorologie d'essai, 15p.Disponible sur : https://metrologiefrancaise.lne.fr/sites/default/files/media/document/07_pesticides-tracabilite-mesure_consulter_le_12-2020, consulté le: 07-12-2020
18. El-Mrabet K., 2006. Développement d'une méthode d'analyse de résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem dans les matrices céréalières après extraction en solvant chaud pressurisé. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France, 292p.
19. FAO/ OMS., 2014. Code de conduite international sur la gestion des pesticides, Organisation mondiale de la Santé Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, 58p.

20. Fountain M.T., Brown K.V., Alan C.G., Symondson C.O.V., Murray J.P., 2007. The effects of the insecticides chlorpyrifos on spiders and Collembola communities. Elsevier, 51 : 147-158.
21. Fouber A., 2012. Biodiversité.Victimes silencieuses des pesticides, Section française de l'organisation mondiale de protection de la nature WWF, 80p.
22. Guimont S., 2005. Devenir des pesticides dans les sols en fonction de l'état d'humidité et du mode de circulation de l'eau dans le sol. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 214p.
23. Gountan A., 2013. Effet des pesticides et de différents types de matière organique sur la macrofaune et la microfaune d'un sous-sol culture pluviale de tomate (*Lycopersicon esculentum* Linné). Mémoire de master. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 77p.
24. Garcelon P., 2016. Les Collemboles. Disponible sur : <https://collemboles.fr/classification/determination-de-familles.html>
25. Hattenschwiler S., Ganault P., Gillespie L., Coq S., Barantal S., 2018. Quels enjeux sont associés à la biodiversité des sols ?. Innovations Agronomiques, 69:1-14. Disponiblesur:https://www.researchgate.net/publication/328956377_Quels_enjeux_sont_associes_a_la_biodiversite_des_sols
26. Hedde M., 2018. Indicateurs basés sur la faune des sols : des outils pour l'agriculture innovante ?. Innovations Agronomiques, INRA, 69: 15-262.
27. Heip C.H.R., Herman P.M.J., Soetaert K., 1998. Indices of diversity and evenness. Océanis, 24 (4) : 61-87.
28. Hodkinson, I.D., Jackson, J.K., 2005. Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring , with particular reference to mountain ecosystems, Environmental Management, 35(5): 649-666.
29. Hurst P., Kirby P., 2004. Health, safety and environment: A series of trade union education manuals for agricultural workers. International Labour Organisation, 325p.
30. Jeffery S., Gardi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., RitzK., Pérès G., Römbke J et. van der W., 2010. Atlas européen de la biodiversité des sols.

- Commission européenne, Bureau des publications de l'union européenne, Luxembourg, 130p.
31. Merchi M., 2008. Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses: caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse, France, 140p.
32. Molinatti G., Urgelli B. & Charron C., Mise en forme: Marciniak C., Clé de détermination et classification des animaux du sol.
33. Morón-Ríos A., Rodríguez Miguel Á., Pérez-Camacho L., Rebollo S., 2010: Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field. *European Journal of Soil Biology*.46(2): 91-96.
34. Miquel G., 2003. La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Rapport N°2152. Disponible sur : <https://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-2.html>
35. Periquet A., 2004. Pesticides, risques et sécurité. Comité Sécurité Alimentaire d'Aprifel, Paris, France, 216p.
36. Pey B., 2010. Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des technosols. Thèse de doctorat. Université de Lorraine, France, 303p.
37. Rahoui W., 2012. Détermination de quelques paramètres biochimiques et des marqueurs du statut redox chez les agriculteurs utilisateurs de pesticides de la Wilaya de Tlemcen (région de Hennaya). Mémoire de master. Université Abou BekrBelkaid Tlemcen, Algérie, 66p.
38. Ramade F., 1984. Elements d'écologie : Ecologie fondamentale, Mc Graw_Hill, Paris, France, 397p.
39. Ruiz Camacho N. ,2004 : Mise au points d'un système de bioindication de qualité du sol base sur l'étude des peuplements de macro invertébrés, Thèse de doctorat, université paris 6 ,296P

40. Salmon S., 2017. Les Collemboles: acteurs de la vie du sol, Encyclopédie de l'environnement. Index université Grenoble alpes:1-8. Disponible sur:<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/collemboles-acteurs-vie-sol/>
41. Samuel O., Saint-Laurent L., 2001 : Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraichère. Institut de recherche en santé et en sécurité de travail, Québec (IRSST), Canada, 85p.
42. Schreck E., 2008. Influence des modes d'entretien de sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration-Impacts sur les lombriciens .Thèse de doctorat. Université de Toulouse III, France, 301p.
43. Thibaud J-M, D'ahaese A., 2010. Le petit collembole illustré. Bulletin de l'association entomologique d'Auvergne. Arvernis, France, N 51-52, Paris, p56.
44. Van der Werf H.M.G., 1997. Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. Courrier de l'environnement de l'INRA (31): 5-22.
45. Vitinnov/ Giffard B., 2017. Journée technique de l'agroécologie du vignoble. Bordeaux sciences agro, Bordeaux, France, 62p.
46. Walker A .,1976.simulation of herbicide persistence in soil. Testic. Sci 5 :41-49.
47. Yaron., B. 1989. "General Principle of Pesticide Movement to Ground water." Agriculture, Ecosystems and Environment 26: 275-297.

Annexes

Annexe 1: Principaux groupes composant la pédofaune et leur rôle au sein de l'écosystème sol.

« classe »	Exemples	nombre /m ³ dans sol brun tempéré (d'après plusieurs auteurs dont Bachelier, 1979)	régime alimentaire	productions	Classification fonctionnelle (d'après P. Lavelle et autres auteurs)
Microfaune	Protozoaires	de 100 à 1 000 millions	des bactéries et des champignons		microprédateurs
	Nématodes	de 1 à 20 millions	beaucoup d'espèces sont phytoparasites ; certaines sont prédatrices d'autres Nématodes et d'Acariens ; les autres sont saprophages	des pelotes fécales avec des fragments de 5 µm ³	microprédateurs ou transformateurs de litière
Mésafaune	Acariens	de 20 000 à 500 000	la plupart ingèrent des Bactéries, des pollens, des débris végétaux et animaux divers : ce sont des saprophages ; certains sont prédateurs	des pelotes fécales avec des fragments de 20 µm ³	transformateurs de litière
	Collemboles	de 20 000 à 500 000	la plupart sont saprophages ; quelques espèces sont prédatrices	des pelotes fécales avec des fragments de 20 µm ³	transformateurs de litière
	Enchytréides	de 10 000 à 50 000	des débris végétaux en décomposition, les déjections des micro-Arthropodes	des agrégats et des petites galeries	fouisseurs et transformateurs de litière
Macrofaune	Lombrics	de 50 à 400	des débris végétaux, qu'ils ingèrent avec de la terre	des agrégats organo-minéraux, des galeries, des turricules	ingénieurs de l'écosystème
	Larves de Diptères, de Coléoptères, de Lépidoptères...	larves de Diptères : 400 larves de Coléoptères : 100	les régimes varient selon les espèces : on trouve des saprophages, coprophages, nécrophages, prédatrices, phytophages	les saprophages produisent des pelotes fécales, les phytophages, beaucoup de dégâts dans les cultures	transformateurs de litière, consommateurs primaires ou prédateurs, selon les espèces
	Coléoptères adultes	quelques-uns	la plupart sont saprophages ; certaines espèces sont parasites des fourmilières	des pelotes fécales avec des fragments d'1 mm ³	transformateurs de litière
	Fourmis, Termites	très variable selon les lieux	les fourmis sont saprophages et/ou prédatrices selon les espèces, elles ingèrent aussi du miellat sucré ; les termites sont xylophages	des galeries ; les termites produisent des boulettes fécales organo-minérales	ingénieurs de l'écosystème
	Autres insectes	quelques-uns	ils se nourrissent d'une grande diversité de matières végétales et animales	des pelotes fécales	transformateurs de litière
	Myriapodes	250 (très variable)	les Diplopodes sont saprophages, les Chilopodes sont tous prédateurs-chasseurs	les saprophages produisent des pelotes fécales avec des fragments d'1 mm ³	transformateurs de litière ou macroprédateurs
	Cloportes	100	saprophages	des pelotes fécales avec des fragments d'1 mm ³	transformateurs de litière
	Araignées	quelques-unes	prédatrices d'autres Arthropodes		macroprédateurs
Limaces et Escargots	50	ils se nourrissent de végétaux		consommateurs primaires	
Mégafaune	Taube, marmotte, lapin, musaraigne, crapaud fouisseur, etc.		les Mammifères Insectivores mangent des Insectes, les Rongeurs grignotent les plantes et les racines	de très gros trous qui peuvent être des habitats pour une faune ombreuse, des déjections et des cadavres sources de matière organique	bioturbateurs (remuent le sol) et macroprédateurs

Annexe 2 : Clé de détermination et classification des animaux du sol.

