REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Phytopathologie

Par :

ALLOUCHE YASER

KHALFI MUSTAPHA

Thème :

Étude de la toxicité des pesticides liés à l'arboriculture fruitière sur des organismes non cibles dans la wilaya de Médéa

Soutenue publiquement le : 25 /06 /2024. Devant le jury composé de :

CHAOUATI Karima	**MAA**	Université de Médéa	Président
RAHIM Zohra	**MCA**	Université de Médéa	Examinateur
TOUZOUT Nabil	**MAB**	Université de Médéa	Encadreur
SLIFI Malika	**Doctorante**	Université de Bouira	Co-Encadreur

Année universitaire 20232/2024

Remerciements

Tout d'abord, louange à « Allah » qui nous a guidés sur le droit chemin tout au long du travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude à Monsieur ***Nabil Touzout***, notre encadreur, et à Madame ***Malika Slifi,*** notre co-encadreur, pour leur soutien et leur guidance constantes tout au long de notre travail.

Nous sommes également reconnaissants envers Madame ***Karima Chaouati***, présidente du jury, pour son temps et son expertise. Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude à Madame ***Zohra Rahim***, examinatrice, pour son évaluation soignée et précise de notre travail.

Nous sommes reconnaissants envers toutes ces personnes pour leur contribution à notre apprentissage et à notre développement professionnel.

Dédicaces

"À mon père, **Said**, qui m'a inspiré la force et la détermination pour poursuivre mes objectifs.

À ma mère, **Hassina**, qui m'a enseigné la patience et la persévérance.

À mes deux sœurs, **Selma et Sarah**, qui m'ont toujours soutenu et encouragé.

À mes deux frères, **Redha et Zakaria**, qui m'ont montré l'importance de la fraternité et de l'entraide.

À mon oncle, **Abdelhak**, qui m'a guidé et conseillé tout au long de mon parcours.

À Madame **Slifi Malika**, notre co-encadreur, qui m'a apporté son expertise et son soutien.

À mon binôme, **Khalfi Mustapha**, qui m'a partagé les joies et les difficultés de ce travail.

À mes collègues et amis qui m'ont aidé et encouragé, je vous remercie de votre présence et de votre soutien.

Yasser ALLOUCHE.

Dédicaces

"À mon père, **Amar**, qui m'a enseigné la valeur de la famille et de l'amour.

À ma mère, **Hassiba**, qui m'a montré l'importance de la générosité et de la compassion.

À ma soeur, **Douaa**, qui m'a partagé les joies et les peines de la vie.

À mes frères, **Abderraouf et Abdelghani**, qui m'ont appris à être fort et à ne jamais abandonner.

À ma grande mère, **Zohra**, qui m'a transmis ses valeurs et ses principes.

À ma tante, **Mounia**, qui m'a toujours soutenu et encouragé.

À Madame **Slifi Malika**, notre co-encadreur, qui m'a guidé et conseillé tout au long de mon parcours.

À mon binôme, **Yasser Allouche**, qui m'a partagé les joies et les difficultés de ce travail.

À mes amies et collègues qui m'ont aidé et encouragé, je vous remercie de votre présence et de votre soutien."

Mustapha KHALFI.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Produits chimiques agricoles y compris les pesticides (P) et leur activité……7

Tableau 02 : Marché des pesticides en Algérie en million de dollars entre 2006 et 2012 (FAOSTAT, 2016) ……15

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1. Historique de l'évolution des trois plus grandes classes de pesticides des années 1900 à nos jours……. 5

Figure 2. Schéma récapitulatif de la perception des processus de pollution (David leroy ,2019) ……... 10

Figure 3. Cycle de contamination atmosphérique par les pesticides (Fenske et al., 2002) 11

Figure 4. L'impact des pesticides sur la santé humaine (Batsch D., 2001) …… ……12

Figure 5. Estimation des rendements mondiaux moyens selon l'utilisation ou non de Produits phytopharmaceutiques par rapport au rendement maximal (UIPP 2011) …… 13

Figure 6. Le marché mondial des pesticides dans le monde par région en 2011 (UIPP 2011) ……. 14

Figure 7. Le marché mondial des pesticides dans le monde par catégorie en 2011 (UIPP, 2011) …… 14

Figure 8. Morphologie générale d'une fourmi (Annexe. 2019) …… ……. 21

Figure 9. Cycle de vie d'une colonie de fourmis (Molt 2011) …… ……22

Figure 10. Fourmilière arboricole (Lager et al.,2015) …… ……24

Figure 11. Fourmilière arboricole (Lager et al., 2015) …… ……25

Figure 12. Fourmilière souterraine (Cournault, 2013) ……... ……25

Figure 13. Fourmilière en amas (Lager & al, 2015) …… …… …… ……. 26

Figure 14. Impacts directs (lignes continues) et indirects (lignes discontinues) des fourmis sur les compartiments abiotiques et biotiques. En rouge les interactions négatives, en vert les interactions positives et en gris les interactions pouvant être à la fois positives et négatives (traduite d'après Wills & Landis 2018) …… …… …… …… ……30

Figure 15. Carte de localisation de la région de Tablat (Google Earth, 2024) ……. ……35

Figure 16. Échantillonnage des fourmis et prélèvement du sol, (a) : Opération de prélèvement du sol, (b) : Passage du sol à l'étuve réglée à 80°C, (c) : Tamisage su sol. (Original, 2024) ……36

Figure 17. Messor barbarus (Original, 2024) …… …… ……. 37

Figure 18. Préparation des milieux contaminée (Original,2024) …… ……39

Figure19. Photo d'application des pesticides (Originale 2024) … …… ……39

Figure 20. Le déroulement de test d'évitement (Original,2024) …… ……40

Figure 21. Réalisation des coups histologique **a,b** un bain marie c, incubées par plaque chauffant. (Original 2024) …… ……43

Figure 22. Nombre de mortalités des formis au bout de 24 heures après exposition avec l'insecticide ……46

Figure 23. Nombre de mortalités des formis en fonction des concentrations du temps et des concentrations de l'insecticide……47

Figure 24. Nombre de mortalités des formis au bout de 24 heures après exposition avec l'herbicide …… 47

Figure 25. Nombre de mortalités des formis en fonction du temps et des concentrations d'herbicide……48

Figure 26. Nombre de mortalités des formis au bout de 24 heures après exposition avec l'herbicide……49

Figure 27. Nombre de mortalités des formis en fonction du temps et des concentrations de 'engrais de fond……49

Figure 28. Test d'évitement des formicidae envers les produits phytosanitaires …… ……50

Figure 29. Histologie de la cuticule des formicidae A : insecticide : pesticide : angrais,d :Témoin…….…..51

LISTE d’abréviation

UIPP : Union des Industries et de la Protection des Plantes.

FAO: Food and Agriculture Organization.

ACTA : Association de Coordination Technique Agricole.

DDT : Dichloro Diphényl Trichloroéthane.

µm: Micromètre.

DL50 : Dose Létale 50%.

ENS : École National des Sciences Agronomiques à Alger.

ISO 17512-1 2008 : est une norme internationale qui fournit des lignes directrices pour l'évaluation de la qualité des sols à l'aide de tests comportementaux sur les collemboles.

SPE 1/RM/43 : est une méthode spécifique de l'industrie pour évaluer la toxicité des substances chimiques.

Sommair

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1
CHAPITRE I : Généralités sur les produits phytosanitaires 4
I.1. Définitions et étymologie des pesticides 4
I.2. Historique 4
I.3. Classification des pesticides 5
I.3.1. Selon leur composition chimique 6
I.3.2. Selon les organismes vivants visés 6
I.3.3 Selon l'usage : (Kheddam-Benadjal 2012). 7
I.4. Objectif de traitement par les pesticides 7
I.5. Impact des pesticides 8
I.5.1. Sur l'environnement 8
I.5.2. Sur la santé humaine 11
I.5.3. Sur la biodiversité 12
I.6.Avantages des pesticides 13
I.7.Le marché des pesticides 13
I.7.1. Dans le monde 13
I.7.2. En Algérie 14
Chapitre II : La faune du sol 17
II.1. Définition 17
II.2. Classification 17
II.2.1. La microfaune 17
II.2.2. La mésofaune 18
II.2.3. La macrofaune 18
II.2.4. Les vers et les termites. 18
II.2.5 Les diptères 19
II.2.6. Les fourmis 19
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES 34
III.1. Objectif de l'étude 34
III.2. Préparation des éléments expérimentaux 34
III.2.1. Présentation des stations d'échantillonnage des fourmis et du sol 34
III.2.2. Méthode d'échantillonnage des formicidae 35
III.2.3. Méthode de prélèvement du sol 35
III.2.4. Choix des pesticides 36
III.2.5. Choix du modèle biologique 37
III.2.6. Identification des fourmicidae 37

III.3. Test de toxicité aigue 37
III.3.1. Préparation des concentrations des trois produits phytosanitaires 37
III.4. Contamination des fourmis 38
III.5. Test de réaction aigue d'évitement 39
III.5.1. Fabrication de l'enceinte expérimentale 40
III.5.2. Contamination des fourmis 40
III.6. Analyse Histologique 41
III.6.1. Matériel et méthodes 41
III.6.2. Étude histologique 41
III.7. Méthodes d'exploitation des résultats 43
IV. Résultats et Discussion 46
IV.1. Essai de toxicité aigüe des pesticides sur les formis 46
IV.1.1. Effet de l'insecticide 46
IV.1.2. Effet du herbicide 47
IV.1.3. Effet de l'engrais de fonds 48
IV.1.4. Essai de test d'évitement des pesticides sur les formis 50
IV.1.5. Autres effets induits par les pesticides sur Messor barbarus 50
IV.2. Discussion 52
Conclusion et perspectives 57
Références Bibliographiques 59

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis l'Antiquité grecque, les produits phytosanitaires ont été développés comme un moyen de lutte qui a joué un rôle dans l'amélioration de la santé publique en éliminant ou en limitant la propagation des maladies parasitaires très mortelles et en assurant une meilleure production alimentaire. **(Gagaoua et al 2012)** ; ces composés chimiques jouent un rôle souvent essentiel dans la préservation, la régularité et la qualité de l'agriculture. **(Moussaoui, 2010).**

Les pesticides ont favorisé le développement de l'agriculture après la Seconde Guerre mondiale et ont joué un rôle dans l'augmentation des rendements et la régulation de la production agricole. **(Bourbia Ait-Hamlet, 2013)**.

L'Algérie fait partie des pays africains où les pesticides sont les plus utilisés. De nos jours, dans notre pays, avec l'intensification de l'agriculture, l'utilisation des pesticides ne cesse de croître dans de nombreux secteurs et en quantités considérables. **(Bordjiba & Ketif, 2009 in Bouziani, 2007).** Avec importation en moyenne 8827 tonnes de pesticides pour un cout estimé à près de 4 milliards et demi de dinars par an **(Anonyme, 2006).**

Bien que les pesticides jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la production agricole, ils présentent de nombreux dangers pour l'environnement. Outre l'élimination de l'espèce visée, ils ont également la capacité de contaminer et de faire disparaître les autres acteurs de la chaîne alimentaire. **(Barrios, 2007).** En effet, très grande partie des pesticides répandus n'atteint pas leur cible. Une partie importante est dispersée dans l'atmosphère, soit lors de leur application, soit par évaporation ou par envol à partir des plantes ou des sols, sur lesquels ils ont été répandus. Dispersés par le vent et parfois loin de leur lieu d'épandage, ils retombent avec les pluies directement sur les plans d'eau et sur les sols d'où ils sont ensuit drainés jusqu'aux milieux aquatique par les eaux de pluie, ce qui présentent une vraie menace pour tout l'environnement **(Frenske** et al., **2002).**

Dans le cadre d'évaluation de la qualité des sols, les démarches physico-chimiques sont essentielles car elles informent sur la présence, la nature et la quantité des contaminants dans les sols. Toutefois, elles ne peuvent renseigner sur les effets de polluants sur les organismes vivants et les écosystèmes. C'est pour quoi et de manière complémentaire, l'utilisation d'indicateurs biologiques est indispensable à l'évaluation de la qualité des milieux.

Parmi les bioindicateur les plus connus, on à les fourmis qui constituent un des groupes les plus importants d'organismes vivants dans de nombreux milieux, ils pouvent représenter jusqu'à 15 % de la biomasse animale, voire 94 % des individus et 50 % de la biomasse en arthropodes dans la canopée des forêts tropicales, ces petits individus jouent un rôle majeur dans le fonctionnement du sol, en contribuant à la décomposition des matières organiques, la régulation de l'activité microbienne, le cycle des nutriments et à la structuration du sol **(HÖlldoblEer& Wilson, 1990).** Elles jouent à la fois le rôle de prédateurs qui contrôlent les populations de nombreux autres insectes, d'éboueurs qui évaporent les cadavres d'insectes ou de petits animaux, de pollinisateurs et d'acteurs indispensables dans la dispersion des graines et l'enrichissement des sols. (**Tobin, 1994).** Les fourmis sont fréquemment employées comme indicateurs biologiques dans de nombreuses études de biodiversité vue leur contribution à l'aération et au brassage des sols, ainsi que leur influence sur les populations d'autres insectes. En utilisant la prédation, ainsi que les multiples interactions qu'elles ont avec les plantes. **(Passera et aron, 2005)**. Toutefois, l'une des difficultés principales de l'emploi des fourmis et d'autres invertébrés dans les études écologiques et environnementales est la complexité d'identifier les échantillons de terrain. **(New, 1996)**

L'objectif général de notre travail est d'évaluer la toxicité de trois produits phytosanitaires fréquemment utilisés par les agriculteurs de la wilaya de Médéa à travers l'utilisation d'un bioindicateur de pollution, la formis *Messor barbarus*.

Le présent travail est structuré en trois parties, la première, fait l'objet d'une synthèse bibliographique sur les pesticides, la pédofaune en particulier les formicidae. La deuxième comprend notre approche méthodologique de recherche et la troisième partie traite les résultats et la discussion. Le tout est couronné par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I

CHAPITRE I : Généralités sur les produits phytosanitaires

I.1. Définitions et étymologie des pesticides

Le terme pesticide dérive du mot anglais « Pest » qui désigne tout animal ou plante (virus, bactérie, champignon, ver, mollusque, insecte, rongeur, oiseau et mammifère) susceptibles d'être nuisible pour l'homme et à son environnement et de « cide », du latin caedere signifiant frapper, abattre, tuer **(Gatignol & Etienne, 2010).**

Les pesticides sont aussi appelés « produits phytosanitaires, produits phytopharmaceutiques ou produits antiparasitaires à usage agricole ». Mais sur le plan international, le terme anglais « pesticide » est d'usage courant **(Calvet et al ,2005)**

Ce sont des substances ou des préparations à usage agricole, dont les propriétés chimiques sont destinées à protéger les végétaux, et utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes jugés indésirables tels que les plantes, les animaux, les champignons et les bactéries **(Couteux et Salau,2009).**

Les pesticides peuvent également être utilisés sur les produits après leur récolte, pour améliorer la capacité de conservation de ces produits sur une longue période, comme c'est le cas par exemple pour le stockage et le transport des céréales. **(MASAF,2013)**.

Les pesticides sont disponibles en différentes formulations. Ils peuvent se présenter sous forme de poudres mouillables, de liquides pâteux ou de liquides plus ou moins fluides,de granulés solubles. Leur application par pulvérisation est le plus souvent utilisée pour traiter les cultures. Une bouillie liquide de pesticide est obtenue en additionnant de l'eau. **(Fournier, 1988)**

I.2. Historique

Les pesticides sont utilisés depuis longtemps, car Homère a déjà utilisé la fumigation domestique par la combustion de la fleur de soufre. De 1800 à 1825, les produits chimiques suivants ont été utilisés : arsenic, pyrèthre, soufre et combinaisons de soufre et chlorure de mercure.

D'autres substances telles que la roténone a été introduites entre 1825 et 1850. L'utilisation des pesticides a vraiment commencé en 1867-1868, avec le souci constant des chercheurs d'appliquer le pesticide au moment où les prédateurs sont les plus vulnérables. En

France, le bromure de méthyle a été utilisé pour la première fois pour la fumigation en 1932. Le pentachlorophénol a été introduit en 1936 pour protéger le bois des moisissures et des termites.

En **1938, Gerhardt** a découvert le premier insecticide organophosphoré, le TEPP (Tétraéthyl Pyrophosphate). Le Suisse Paul Muller a remporté le prix Nobel pour son découverte du DDT en tant qu'insecticide dans les années 1940. Le prophame, le premier carbamate herbicide, a été introduit en 1945. Environ 1200 substances ont été introduites chaque année, et 500 ont été supprimées par tranches de 20 ans.

Les effets des pesticides sur les organismes non ciblés et l'environnement ont suscité des débats mondiaux et ont conduit à la mise en place de lois pour les contrôler. Les pesticides non ciblés les plus controversés ont été les organochlorés, en particulier le DDT qui nuit aux oiseaux et aux poissons (**Manfred et Nicole mole, 2005)**.

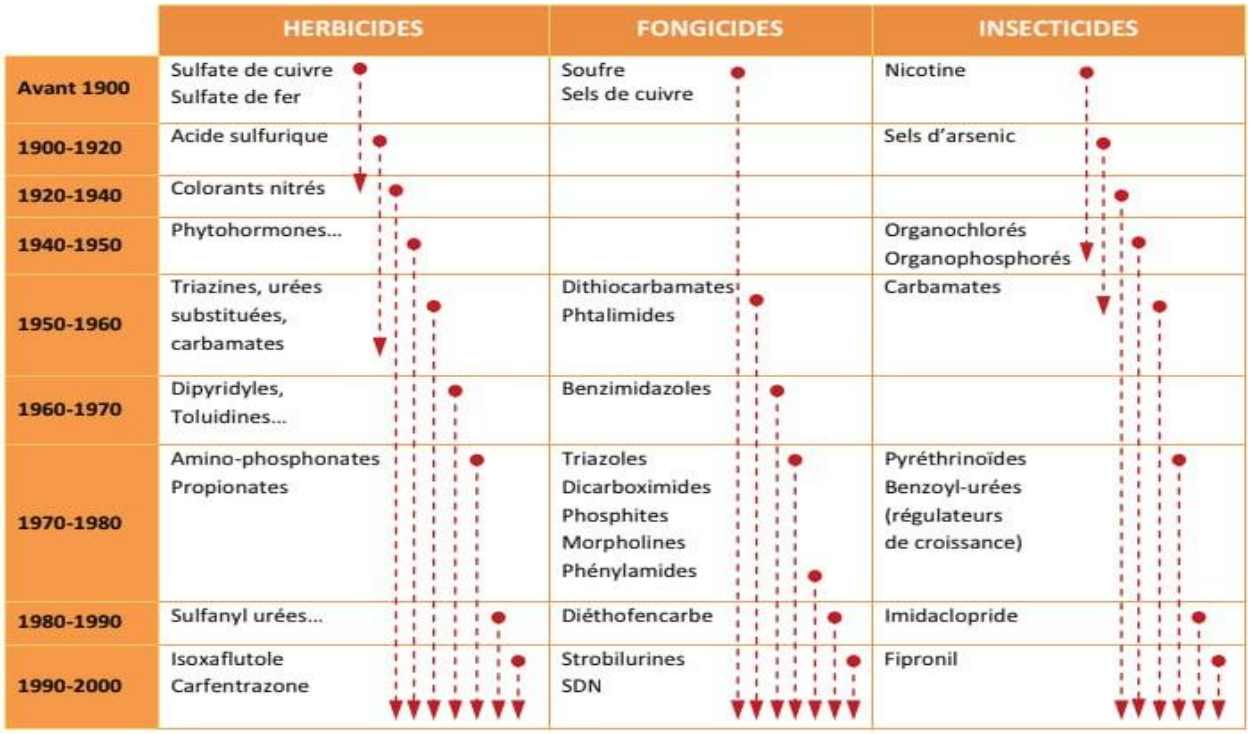


Figure 01 : Historique de l'évolution des trois plus grandes classes de pesticides des années 1900 à nos jours. Source: J. MY, UIPP, PHYTOMA, Août-sept. 95 **(in Severin,2002).**

I.3. Classification des pesticides

Il existe trois façons de classer les pesticides : par leurs caractéristiques chimiques, par les organismes vivants visés et par leur usage **(Clavet et al., 2005).**

I.3.1. Selon leur composition chimique

Les pesticides sont classés en trois catégories :

Les pesticides qui ne sont pas organiques : Il y en a peu qui sont des pesticides très anciens dont L'utilisation a commencé bien avant le développement de la chimie organique de synthèse. **(Montauzon et al, 1978)**

Les pesticides organométalliques : sont des substances chimiques qui ont au moins une liaison covalente entre un atome de carbone et un métal **(Montauzon et al, 1978).**

Les pesticides organiques : Il existe plus de 80 familles ou classes chimiques différentes et ils sont très nombreux **(Rahatlfoul et al, 2019).**

I.3.2. Selon les organismes vivants visés

Les centaines de pesticides agricoles chimiques peuvent être classés selon le type de ravageur, maladie, ou ce qu''ils combattent (**Cissé, 2003)**.

Les fongicides

Ils sont utiles pour lutter contre la propagation des champignons pathogènes. Ils permettent la lutte contre les maladies cryptogamiques qui endommagent gravement les végétaux (**Cissé, 2003)**.

Les insecticides

Sont utilisés pour protéger les plantes des insectes nuisibles. En les éliminant ou en empêchant leur reproduction, ils interviennent. D'après leur composition chimique, ils se divisent en trois grands groupes :

Les substances minérales, les molécules organiques d'origine naturelle et les produits organiques de synthèse sont les plus couramment utilisés **(Kesraoui, 2008).**

Les herbicides

Sont les plus utilisés au monde en quantité et en surface, car ils éliminent les mauvaises herbes des cultures **(Margoum, 2010).**

Tableau 01 : Produits chimiques agricoles y compris les pesticides (P) et leur activité **(J.Boland et al 2004).**

Catégorie	**Activité**
Algicide	Tue les algues
Anorexigène	Prévient que les animaux se nourrissent de la culture ou du produit stockè
Appât	Attire les animaux provoquant des flèaux
Bactèricide (P)	Tue ou inhibe la croissance des bactèries
Fumigant (P)	Gaz ou fumèe contre les ravageurs ou les moisissures dans les produits stockès
Miticide / acaricide (P)	Tue ou nuit aux acariens (ou araignèes)
Molluscicide	Tue les escargots et les limaces
Nèmaticide (P)	Tue les nèmatodes
Repousseur d'indèsirables	Eloigne les animaux causant des flèaux
Rodenticide	Tue les rats, les souris, les rongeurs
Stèrilisant	Stèrilise les insectes par voie chimique
Termiticide (P)	Tue ou nuit aux termite

I.3.3 Selon l'usage : (Kheddam-Benadjal 2012).

Selon l'Association Française pour l'Etude des Eaux « AFEE » (1981), les pesticides sont utilisés dans plusieurs domaines d'activité pour lutter contre des organismes vivants nuisibles. Il existe six (06) catégories de pesticides classés selon leurs usages :

- Cultures
- Bâtiments d'élevage
- Locaux de stockage des produits végétaux
- Zones non agricoles
- Bâtiments d'habitation
- L'Homme et les animaux

I.4. Objectif de traitement par les pesticides

Le but du traitement par pesticides Les traitements chimiques visent à tuer ou à inhiber la croissance et le développement du ravageur ou de la maladie en introduisant la matière active toxique. Lorsque la formulation physique et chimique de la matière active est capable

de tuer ou de nuire à un insecte, une moisissure ou un champignon, une bactérie ou autre organisme nuisible qui endommage la culture, l'application d'un produit phytosanitaire est efficace. Un traitement efficace doit respecter les exigences suivantes :

- Choisir le produit phytosanitaire approprié.

- Appliqué avec précision.

- à la bonne heure.

- en utilisant la méthode appropriée **(Boland et al, 2004)**

I.5. Impact des pesticides

I.5.1. Sur l'environnement

Les risques liés à l'utilisation incontrôlée des pesticides ont dépassé leurs effets bénéfiques. Ces produits affectent l'environnement en réduisant la qualité de ses différents compartiments : l'air, l'eau et le sol **(Hakeem et al., 2016)**

I.5.1.1. Contamination des sols

Divers processus, tels que la biodégradation, la dégradation chimique, la rétention par les composants organiques et minéraux, l'absorption par les racines des plantes, la volatilisation et l'effet de dilution par les mouvements de l'eau, affectent le comportement des pesticides dans les sols.

La substance active est adsorbée sur les particules du sol dans le compartiment sol, réduisant ainsi sa mobilité. L'absorption n'est pas une situation statique, car les molécules qui sont piégées dans le sol et qui ne sont pas dangereuses peuvent être désorbées en cas de modifications du pH, ce qui peut avoir un impact négatif sur les organismes du sol voire migrer vers les eaux superficielles et souterraines **(la comité sécurité alimentaire d'Aprifel. 2004).**

a. Les organismes de sol

Plusieurs pesticides sont nocifs pour les insectes utiles, les oiseaux, les mammifères, les amphibiens et les poissons. Selon la toxicité du pesticide, la quantité appliquée, la fréquence, le moment et la méthode de pulvérisation, l'empoisonnement de la faune sauvage est influencé **(Isenring Richard,2010).**

Il est possible que les animaux soient intoxiqués par contact lors du traitement aérien ou par ingurgitation. La manipulation des semences, par exemple, présente un risque pour la faune granivore et peut entraîner des décès importants chez les populations d'oiseaux **(FAO,2008).**

En mangeant des aliments ou de l'eau contaminés, en respirant les vapeurs des pesticides ou en absorbant ces derniers par la peau, la faune est exposée aux pesticides. Les animaux qui ont été exposés aux pesticides peuvent être empoisonnés par les prédateurs. Le système nerveux des animaux sauvages est sensible à de nombreux insecticides, ce qui peut perturber leur capacité à survivre ou à se reproduire **(Jakuboski,2011).**

Les pesticides ont la capacité de traverser le placenta ou d'atteindre les œufs des oiseaux ou des reptiles, ce qui entraîne des signes d'affaiblissement ou de défauts qui se manifestent plus tard dans la vie. Les pesticides, employés pour éliminer les mauvaises herbes, ont un impact sur les plantes essentielles à la survie de la faune. L'eau est particulièrement exposée aux pesticides par les poissons, les amphibiens et les insectes aquatiques. Ceci concerne également les animaux tels que les canetons qui ont besoin de ces créatures pour subsister. (**Vincent Charles, 2000).**

On ne connaît pas les effets précis des pesticides sur les populations de phytoplancton, mais étant donné qu'ils sont destinés à abattre les plantes, les herbicides ont les effets les plus importants. De plus, certains insecticides sont toxiques pour les plantes aquatiques. (**Kegly Susan E ,1999).**

Les fongicides contenant du cuivre présentent une toxicité élevée pour les organismes aquatiques, car il existe un risque élevé d'accumulation du cuivre dans les poissons et certains autres organismes aquatiques. Tandis que Les insecticides chlorpyrifos et endosulfan peuvent être dangereux pour les amphibiens à des concentrations inférieures à celles normalement utilisées dans l'environnement. **(Isenring Richard ,2010).**

I.5.1.2. La contamination de l'eau

Les pesticides peuvent se propager dans des eaux superficielles telles que les fossés, les mares et les puits après avoir été utilisés dans un champ. Ceci peut se produire lorsque les cultures irriguées sont abondamment arrosées ou lorsque beaucoup de pluie inonde la culture. Le pesticide est en partie déversé par la pluie et se répand dans les mares ou les cours d'eau. Les humains ne sont pas directement en danger, car le pesticide est fortement dilué. Cependant, l'eau devient polluée s' il se s'écoule lentement ou stagne dans des mares ou des

puits. Le pesticide peut alors être consommé par les hommes en buvant de l'eau ou en prenant un bain (**Boland et al 2004).**

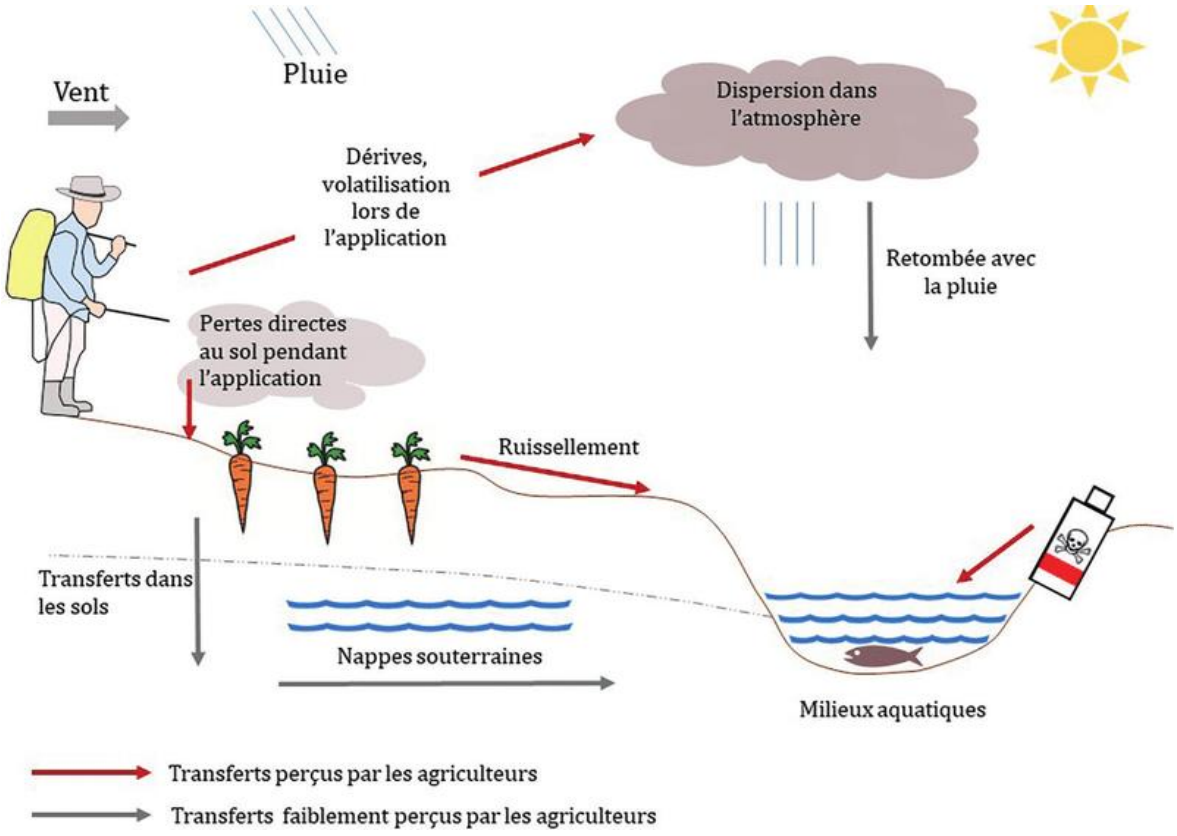


Figure 02 : Schéma récapitulatif de la perception des processus de pollution **(David leroy ,2019)**

La majorité des pesticides nuisent aux organismes aquatiques. Prends des mesures de précaution importantes à proximité des cours d'eau **(Fredericton et al.2006)**. Les crustacés et les poissons, qui représentent une source alimentation importante, sont beaucoup plus sensibles aux pesticides que les hommes. Les organismes aquatiques peuvent être affectés, même lorsque la pollution de l'eau est insignifiante pour les normes humaines. Les pesticides doivent donc être utilisés avec beaucoup de prudence, surtout dans les rivières irriguées, qui sont souvent utilisées comme mares à poissons **(J. Boland et al 2004).**

I.5.1.3. Contamination de l'air

L'un des principaux processus par lesquels les pesticides sont exportés en dehors de la zone cible est la volatilisation. Lorsque les produits phytosanitaires sont pulvérisés, ils peuvent passer du sol à l'atmosphère, très volatil, ce qui produit des aérosols transportés dans l'atmosphère. **(Aissaoui, 2012)**.

L'érosion éolienne transporte également les particules contaminées du sol **(Aissaoui, 2012)**. Bien que la volatilisation des produits phytosanitaires soit principalement influencée par les propriétés physico-chimiques du composé, les conditions météorologiques (telles que la température, l'humidité et l'ensoleillement) et la nature de la surface traitée (telle que la présence de végétation ou du sol nu) peuvent également jouer un rôle **(Marinoviche et al., 1996)**.

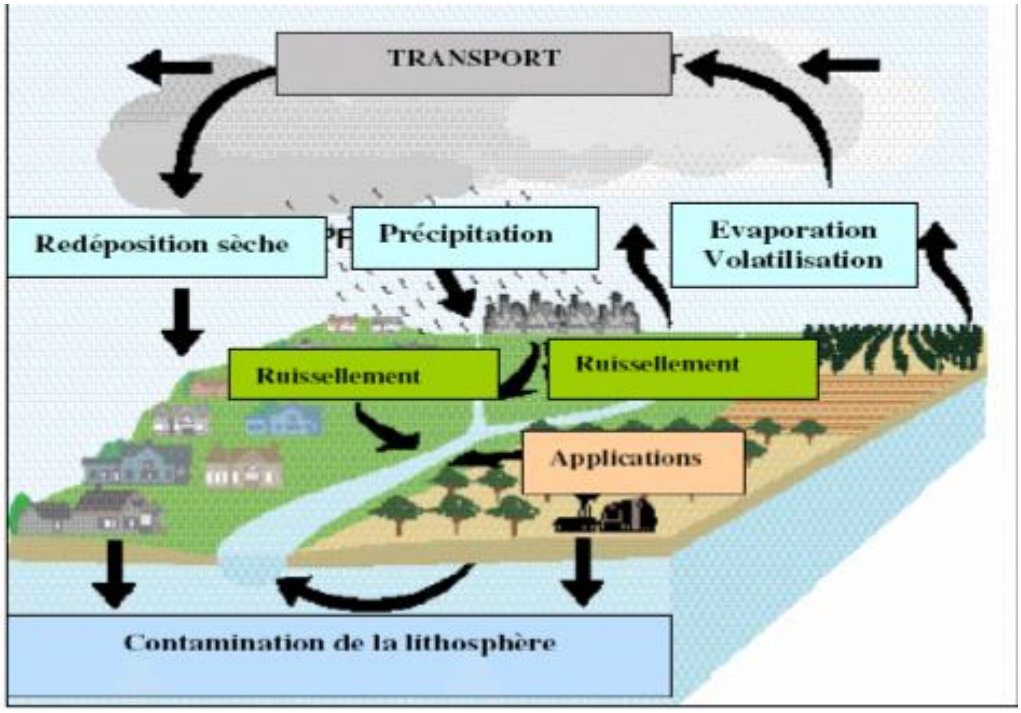


Figure 03 : Cycle de contamination atmosphérique par les pesticides **(Fenske et al., 2002).**

I.5.2. Sur la santé humaine

Différentes recherches menées par Santé Canada ont mis en évidence les dangers d'effets aigus et prolongés pour les agriculteurs qui sont exposés aux pesticides. Des problèmes respiratoires, cutanés, neurologiques, reproductifs, de développement et bien d'autres ont été constatés. L'oedème, l'urticaire, les éruptions cutanées, les dermatites, les allergies, la toux chronique, l'asthme, la dyspnée, la rhinite et une diminution de la capacité respiratoire sont observées chez les agriculteurs qui ont été exposés aux pesticides en raison de leur toxicité aiguë. L Dans cette situation, il est compliqué de prouver la principale origine liée à la maladie. Plusieurs pesticides ont été identifiés comme étant cancérigènes. **(Chantal Gagné,2007).**

Différents pesticides ont été reconnus comme étant cancérigènes ; les lymphomes, la leucémie ainsi que le cancer des tissus conjonctifs, du cerveau et de la prostate sont des formes de cancer. Un certain nombre d'études suggèrent une augmentation des risques de cancer des reins et du cerveau, ainsi que de leucémie, chez les enfants d'agriculteurs **(Chantal Gagné,2007)**.

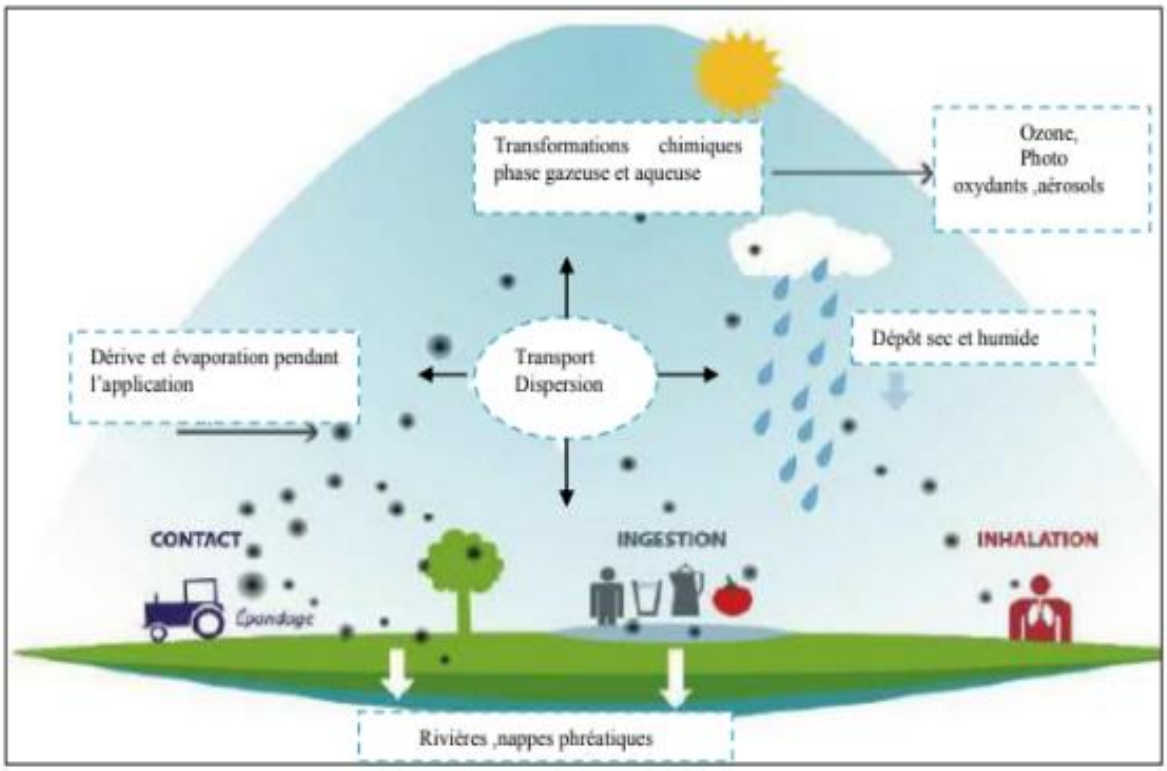


Figure 04 : Impact des pesticides sur la santé humaine **(Batsch D., 2001)**

I.5.3. Sur la biodiversité

ATMO (2008) signale que les pesticides sont présents dans toutes les étapes de la chaîne alimentaire. Ils s'accumulent tout au long des chaînes trophiques et affectent tous les êtres vivants par ingestion ou inhalation. La bioaccumulation est le processus par lequel un contaminant s'accumule au fil du temps à l'intérieur d'un même organisme **(WADE, 2003).**

Le phénomène de bioamplification se produit lorsque cet organisme, qui se nourrit ensuite plantes ou d'animaux déjà contaminés, accumule de fortes concentrations de contaminants qui augmentent à chaque niveau de la chaîne alimentaire **(WADE, 2003)** , est une méthode indirecte de bioaccumulation. En mangeant des organismes contaminés de niveaux trophiques inférieurs, les contaminants seront transmis à leur prédateur. La

concentration des contaminants augmente donc au fur et à mesure que l'on monte dans les niveaux trophiques. **(Annette V., Gimbert F., (2013)**

I.6.Avantages des pesticides

Selon **(L'Union des producteurs agricoles 2020**) les producteurs doivent répondre à des exigences de rendement et de qualité croissantes sur des marchés fortement compétitifs. Les pesticides sont toujours nécessaires pour lutter contre les ennemis des cultures et garantir l'approvisionnement en denrées à des prix compétitifs, en qualité et en quantité. Si ce n'est pas le cas, les produits vendus dans les épiciers proviennent d'autres sources. La réduction de l'utilisation des pesticides doit passer par des solutions de rechange efficaces et économiquement viables car les prix et l'apparence des fruits et légumes demeurent des facteurs décisifs lors de l'achat d'un produit plutôt qu'un autre **(FAO ,2005, in UIPP, 2010).**

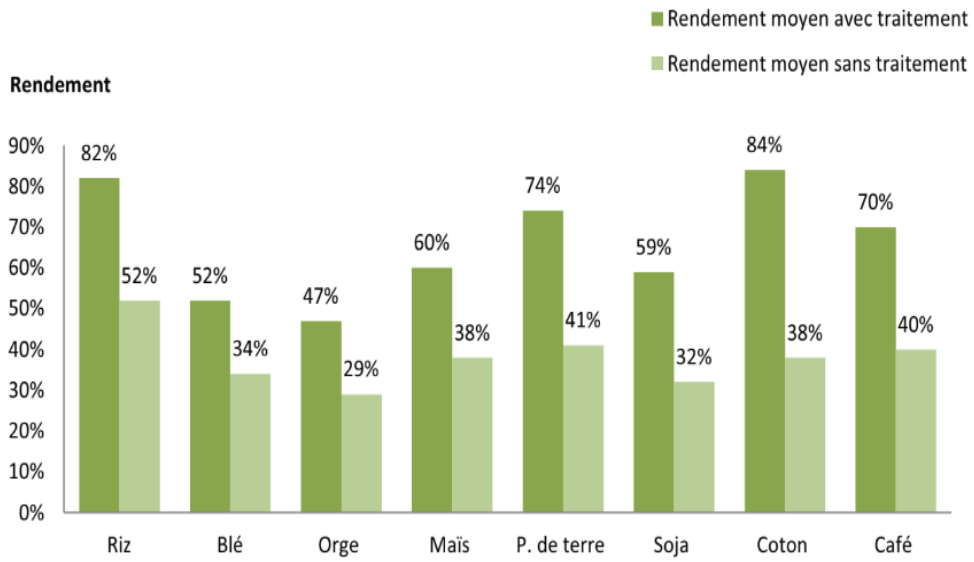


Figure 05 : Estimation des rendements mondiaux moyens selon l'utilisation ou non de produits phytopharmaceutiques par rapport au rendement maximal. **: Source : (FAO ,2005, in UIPP, 2010)**

I.7.Le marché des pesticides

I.7.1. Dans le monde

Le marché mondial des pesticides représente environ 40 milliards de dollars. Il est stable les années 2000 **(UIPP, 2011).** Les États-Unis sont le premier consommateur mondial de pesticides, suivent l'Inde, la France (1er consommateur Européen), puis l'Allemagne. Selon les rapports de l'UIPP (2011), le chiffre d'affaires du marché des produits

phytosanitaires a augmenté de 15 % à l'échelle mondiale. Le marché reste dominé par l'Europe avec 27,7 %, suivie de l'Asie avec 26,4 %, de l'Amérique latine avec 22,9 % et de l'Amérique du nord avec le pourcentage est de 19,1%, tandis que l'Afrique est à 4%. **(UIPP, 2011).**

Selon les informations fournies par l'UIPP (Union des industries de la protection des plantes), les herbicides sont les pesticides les plus couramment utilisés dans le monde, pour toutes les cultures (46% du tonnage mondial en 2005). Ensuite, à utilisation égale, apparaissent les insecticides (26 %) et les fongicides (26% du total) **(UIPP, 2011).**

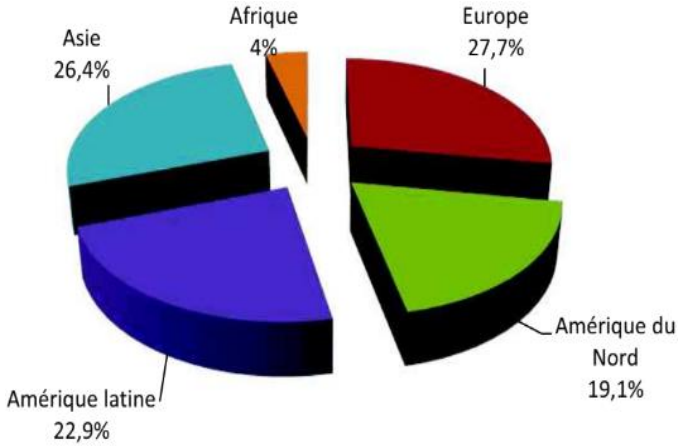


Figure 06 : Le marché mondial des pesticides dans le monde par région en 2011 **UIPP (2011)**

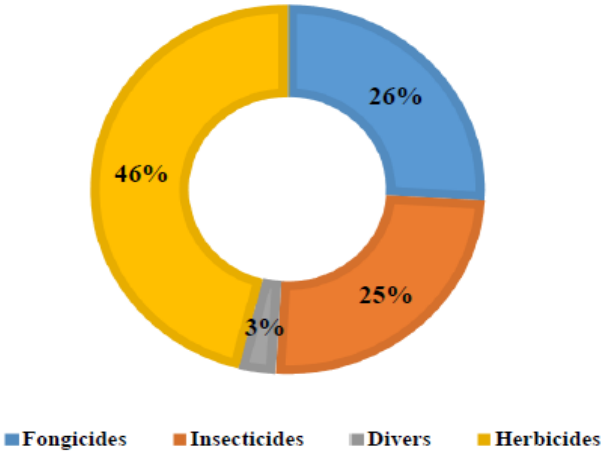


Figure 07: Le marché mondial des pesticides dans le monde par catégorie en 2011 **(UIPP, 2011)**

I.7.2. En Algérie

Les pesticides sont utilisés peu en Algérie par rapport aux pays développés, selon des enquêtes auprès des agriculteurs et des revendeurs. En revanche, les fongicides et les

insecticides sont les pesticides les plus couramment utilisés en Algérie. Aux pays développés ou aux herbicides les plus courants. **(Djellouli, 2013)**

L'Algérie utilise 6000 à 10000 T/an de pesticides, ce qui fait de l'Algérie un grand consommateur de pesticides **(Bouziane, 2007).**

Le marché algérien des pesticides ne cesse d'augmenter. En 2010, l'Algérie a importé des pesticides pour 91.76 millions de dollars, contre 81.67 millions de dollars en 2006 (**FAOSTAT, 2016).** Tableau 2.

Tableau 02 : Marché des pesticides en Algérie en million de dollars entre 2006 et 2012 (**FAOSTAT, 2016).**

Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Valeurs (M$)	29,788	49,376	77,092	65,856	59,648	81,672	91,76

CHAPITRE II

Chapitre II : La faune du sol

II.1. Définition

La pédofaune également appelée faune du sol, englobe toutes les espèces qui effectuent tout ou une partie de leur cycle de vie dans le sol. Les actions de ces organismes sont influencées par les contraintes présentes dans le sol, cependant, l'intensité et la nature de ces contraintes varient.
Leur taille, l'accès à l'eau et aux nutriments sont étroitement liés. **(Benjamin, 2010).**

Les organismes de la faune du sol se comportent en fonction des contraintes présentes dans le sol. Cependant, la gravité et le type de ces contraintes sont étroitement liés à leur taille, à leur disponibilité en eau et en nutriments. En partie, ces dépendances influencent l'abondance, la répartition et le comportement de ces communautés **(Lavelle et Spain, 2001).**

II.2. Classification

La répartition et le comportement de ces communautés (ainsi que les méthodes concrètes pour les extraire pour l'expérimentateur). La classification morphométrique a été créée à partir de cette observation, permettant de classer tous les individus de la faune du sol.

Cette classification fait une distinction entre les individus de la faune du sol en fonction de leur taille et de leur relation avec l'eau. La microfaune (< 0,2 mm), la mésofaune (0,2 mm à 2 mm) et enfin le macrofaune sont distinguées. **(Lavelle et Spain ,2001).**

II.2.1. La microfaune

La microfaune, qui est invisible à l'œil nu, est composée de personnes généralement de taille inférieure à 200µm, qui peuvent donc se reproduire dans la porosité capillaire du sol. La microfaune du sol comprend des rotifères et des tardigrades, mais ce sont les protozoaires et les nématodes qui forment la majorité de cette microfaune. **(Orgiazzi, A. 2016).**

Les protozoaires

Il s'agit d'organismes unicellulaires qui résident en colonies. Ils font partie du groupe des protistes dont le noyau est recouvert d'une couche de membrane. **(Coineau, 1974)**

Le plus souvent, les espèces de microfaune présentent des symptômes de résistance à la sécheresse tels que la diminution de la vie, la déshydratation et l'enkystement. **(Bachellier, 1963)**

Les nématodes

Il s'agit de vers parasites ou libres qui ne sont pas métamérisés et ont généralement un corps très allongé. On les trouve dans les sols abondants en matières organiques et relativement humides. **(Bachellier, 1963)**

II.2.2. La mésofaune

Appelé micro-arthropodes ou méso-invertébrés aussi, composée d'êtres d'une taille approximative de 0,2 à 4 mm. Ce groupe est principalement constitué de collemboles et d'acariens. La mésofaune comprend également les protoures, diploures, thysanoures, enchytréides et les myriapodes symphiles, mais leur nombre est beaucoup plus faible**. (Hedde, M.,et al., 2013.)**

II.2.3. La macrofaune

Constitue la classe d'animaux mesurant entre 4 et 80 mm. Ce sont des vers de terre, des insectes larvaires et adultes (hyménoptères, coléoptères et diptères (larves) principalement), des myriapodes, des araignées, des mollusques et des crustacés. On regroupe également ces animaux selon leur alimentation : les prédateurs, les décomposeurs, les géophages (qui se nourrissent de terre) et les phytophages. **(Hedde, M.et al 2013).**

Un autre groupe fonctionnel, qui n'est pas lié à un groupe trophique, est également souvent employé ; il s'agit des « ingénieurs du sol ». Les ingénieurs du sol modifient l'environnement du sol par leurs activités de construction (turricules, galeries, nids) qui affectent la diversité et l'activité microbienne. Les ingénieurs du sol sont principalement représentés par les lombrics (endogés et anéciques) et les fourmis. **(Razafin drakoto, 2013).**

II.2.4. Les vers et les termites.

Les invertébrés du sol sont principalement constitués de vers de terre et de termites, ils font partie des groupes d'ingénieurs du sol les plus étudiés. **(Jouquet et al. (2014)**
En plus d'être des détritivores, les termites et les vers

de terre influencent également la disponibilité en ressources d'autres espèces en créant des biopores ou des agrégats. Ils jouent un rôle essentiel dans la majorité des fonctions essentielles du sol, comme la dégradation des déchets. Les éléments organiques présents à la surface, le cycle des nutriments, l'infiltration et le stockage de l'eau, ainsi que l'érosion, en font partie**. (Lavelle & Spain 2001).**

Les effets qu'ils exercent sur le sol stimulent l'activité des micro-organismes, ce qui accélére la minéralisation et la libération des nutriments. La croissance des plantes est donc favorisée par leur activité, qui améliore la répartition des racines dans le sol et donc l'accès aux nutriments absorbés par les racines (**Blouin et al. 2013 ; Ojha & Devkota 2014).**

II.2.5 Les diptères

Cet ordre d'insectes se distingue par la présence d'une paire d'ailes unique. Ils sont les agents de nettoyage. Ils contribuent à préserver l'équilibre écologique et jouent un rôle crucial dans la modification de la société et dans l'élimination des déchets indésirables. **(Fryssinele, 2007).**

II.2.6. Les fourmis

Les fourmis sont le groupe d'insectes sociaux le plus diversifié, avec environ 16 460 espèces décrites aujourd'hui **(Bolton 2020)**. C'est l'une des espèces les plus communes de la planète. Ils ont une grande masse corporelle et sont souvent comparés à celle des humains **(Hölldobler & Wilson 1990).** Ces organismes sont perçus comme des acteurs majeurs de leur environnement. Elles peuvent gérer l'espace et les ressources, ce qui leur permet d'avoir un impact sur d'autres espèces dans les zones qu'elles occupent **(Andersen, 1992).** La fourmi est une espèce de fourmis de la famille des Formicidae. Il s'agit des insectes les plus répandus sur notre planète, pouvant représenter jusqu'à 15% de la biomasse animale totale, voire 94% des individus, et 50% de la biomasse des arthropodes dans la canopée des forêts tropicales (**Holldobler et Wilson, 1990**).

II.2.6.1. Position systématique

Les fourmis sont des hyménoptères et du sous-ordre des apocrites. Ces espèces appartiennent à la famille des Formicidae. Comptent aujourd'hui environ 16 460 espèces. Un total de 464 genres et 20 sous-familles de fourmis ont été décrits dans le monde **(Bolton, 2014).**

Latreille (1809) attribue aux Formicidae la systématique suivante :

Règne : Animalia
Embranchement : Arthropoda
Sous-embranchement : Hexapoda
Classe : Insecta
Sous-classe : Pterygota
Ordre : Hymenoptera
Sous-ordre : Apocrita
Super-famille : Vespoidea
Famille : Formicidae **Latreille (1809).**

II.2.6.2. Anatomie externe

Les insectes ont un corps constitué de plusieurs segments répartis en trois groupes : la tête, le thorax et l'abdomen. Chez les fourmis, le thorax se lient au premier segment de l'abdomen et forment un ensemble nommé « mesosoma ». La seconde et la troisième.

Les segments de l'abdomen sont très réduits ; on les appelle « pétiole » et « post-pétiole ». La totalité des segments de l'abdomen constitue un ensemble appelé « gastre **». (Lebas et al.,2016).**

II.2.6.2.1. Tête

Principalement composée de deux antennes et pièces buccales ou mandibules. Les antennes, composées de plusieurs segments et recouvertes de cils tactiles, sont des organes sensoriels ayant pour fonction le goût, le toucher et l'odorat. Elles sont utilisées pour la communication. Les mandibules, dures et cornées, formant la partie supérieure de la mâchoire, servent à saisir et à broyer la nourriture ou à la porter jusqu'à la fourmilière. Les deux yeux de la fourmi sont constitués d'une centaine de facettes qui donnent aux fourmis une vision large de 180°.Chez les reines et les mâles, on retrouve, sur leur front, trois petits yeux appelés ocelles et disposés en triangle sur le sommet de la tête **(Belfadel et Diaf, 2014).**

II.2.6.2.2. Thorax

Situé entre la tête et l'abdomen, il est composé de trois anneaux, chacun portant une paire de pattes. Le prothorax est le segment antérieur autour duquel la tête s'articule. Viennent ensuite le mésothorax puis le métathorax. Le pétiole est l'articulation entre le thorax et l'abdomen **(Belfadel et Diaf, 2014).**

II.2.6.2.3. Abdomen

L’abdomen est la partie postérieure de la fourmi séparée en 11 ou 12 parties qui sont des segments abdominaux. Il renferme des cavités digestives comme le jabot social ou estomac social et le gésier ou estomac **(Belfadel et Diaf, 2014).**

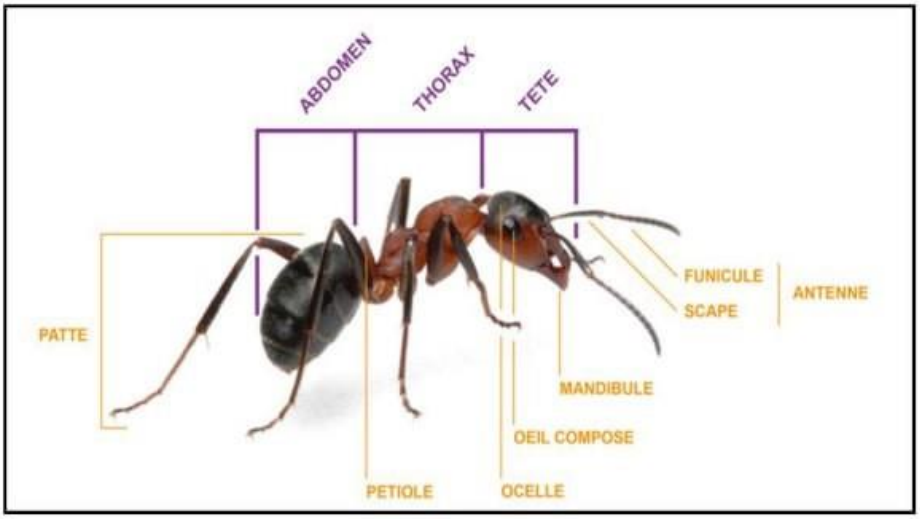


Figure 08 : morphologie générale d'une fourmi **(Annexe. 2019)**

II.2.6.3. Anatomie interne

Le cerveau, qui est constitué de 500 000 neurones, est le point d'entrée de nombreux nerfs, en particulier ceux provenant des antennes et des yeux.

 L'œsophage est extrêmement étroit, ce qui facilite le passage des aliments à l'état liquide pour qu'ils puissent être digérés.

Le système nerveux joue un rôle similaire à celui de la moelle épinière humaine, mais il est situé en position ventrale, comme chez tous les invertébrés.

Le cœur : Formé d'un cylindre allongé long, il transporte l'hémolymphe (qui agit comme le sang) qui se déplace librement dans le corps.

Le jabot offre la possibilité de conserver la nourriture qui pourra être partagée avec une autre fourmi grâce à la trophallaxie.

 Comme chez l'homme, l'intestin est le lieu où se déroule la digestion et où se trouvent les nutriments de la nourriture. **(Lager et al., 2015).**

II.2.6.4. Les différents stades de la vie d'une fourmi (cycle de vie)

La vie d'une fourmi passe par différentes étapes jusqu'à ce qu'elle devienne adulte.

1er étape tout d'abord, les œufs : D'un diamètre d'environ 0,5 millimètre, ils sont transportés à la nurserie dès qu'ils ont été pondus par la reine, où des ouvrières spéciales (ayant subi une mutation des glandes salivaires qui leur permet de mouiller et de désinfecter les larves) s'occupent d'eux jusqu'à leur éclosion **(Lager bryan 2015)**.

Deuxième étape, la larve : Une fois que l'œuf est éclos, la larve de fourmi apparaît, semblable à un petit asticot sans yeux, pattes ni antennes. Elles souffrent de faim et sont donc toujours nourries par les ouvrières, jusqu'à ce qu'elles arrêtent soudainement de se nourrir **(Lager bryan 2015)**.

La troisième étape, la nymphe ou pupe : Après avoir cessé de manger, la larve va cesser de se déplacer afin de perfectionner sa transformation. Elle va former son corps de fourmi adulte, soit dans un cocon de soie qu'elle aura préalablement tissé, soit à nue, selon son espèce. La durée de ce stade de végétation varie de quelques semaines à plusieurs mois **(Lager bryan 2015)**.

Fourmi adulte, quatrième étape : Après avoir terminé sa transformation, la fourmi adulte va se réveiller. Elle va immédiatement se maintenir sur ses pieds, même si elle est fragile et que sa chitine est encore molle. Son corps se renforcera progressivement et prendra une teinte plus foncée, passant d'un jaune pâle à sa couleur finale (noir, rouge, roux... selon son espèce). Enfin, elle aura la possibilité de commencer sa vie de fourmi adulte active et bénéfique pour la fourmilière. **(Lager bryan 2015)**.



Figure 09 : Cycle de vie d'une colonie de fourmis **(Molt 2011).**

II.2.6.5. Distribution des fourmis

II.2.6.5.1. Dans le monde

La distribution des fourmis est influencée par les conditions météorologiques. Le climat régional est accentué par l'altitude, l'exposition du lieu et la nature du substrat, qui influencent le paysage végétal. La physionomie du couvert végétal est le principal élément ; elle correspond à la densité et à la forme de la végétation : arbres, arbustes ou buissons, pelouse ou friche... Le micro climat au niveau du sol est influencé par le pourcentage de couvert végétal et la nature de celui-ci (chênes verts ou zéens, cèdres ou pins...), en plus des autres facteurs (altitude, exposition)**. Cagniant (2011).**

Les fourmis sont réparties de différentes manières : Selon l'altitude, on peut distinguer des espèces de basse altitude (ne dépassant guère 1000 m), des espèces montagnardes et des espèces à large étendue altitudinale. **Cagniant (2011).**

Selon le type de végétation présente, les espèces de lieux découverts, les zones eu-forestières et les zones mésoforestières. Les espèces introduites partout avec les cultures, le pâturage et les déboisements sont connues sous le nom de transgressives (anthropophiles). **Cagniant (2011).**

Ces catégories peuvent être combinées pour parler, par exemple, d'une espèce anthropophile à grande échelle comme Pheidolepallidula.

La distribution des fourmis dépend également de leur éthologie : Espèces d'arbres ou de terres cultivées **Cagniant (2011).**

II.2.6.5.2. En Algérie

Les principaux contours de la répartition des espèces sont établis, d'abord, par les éléments macro-climatiques et géographiques. D'où la possibilité de classer les espèces selon des critères de répartition : espèces des Atlas ou des côtes, méridionales ou au contraire situées au nord du pays. La structure du pays est clairement orientée nord-sud, ce qui rend ce modèle particulièrement évident en Algérie. En plus des espèces strictement réparties, nous avons également des formes indifférentes, à une répartition étendue. **Cagniant (2011).**

Selon Doumandji (1988), Tapinomasimrothi est l'une des espèces de fourmis les plus courantes dans les zones cultivées, notamment dans les champs d'agrumes ,avec Leptothoraxspinosus, Aphaenogaster et Camponotus, les chênaies vertes des niveaux sub-humides et semi-arides sont occupées par cette association. **(Cagniant, 1972).**

Cataglyphisbicolor est une espèce qui vit dans tous les lieux bien ensoleillés et ouverts, du bord de la mer aux sommets des monts. Elle est une espèce très répandue en Grande Kabylie.

(Cagniant, 1968).

II.2.6.6. Habitat des Formicidae

Chez les fourmis, on distingue quatre types de nids essentiels : Les nids à base de terre, les nids creusés dans le bois, les nids à base de fibres de bois mélangées à la salive de l'insecte sont connus sous le nom de « nids en coton » et les nids à base de fibres de bois.

Le nid de la fourmi rousse *Formica rufa* est le principal type d'architecture composée. Finalement, certains nids ne peuvent être classés dans aucune de ces catégories, Belleman **(1999).**

a.Fourmiliere en dôme :

Les fourmilières en dôme, sont les plus fréquentes. Elles sont, en fait, "semi enterrée". Nous les repérons au dôme de terre ou de brindilles ressortant de la terre (fig10)

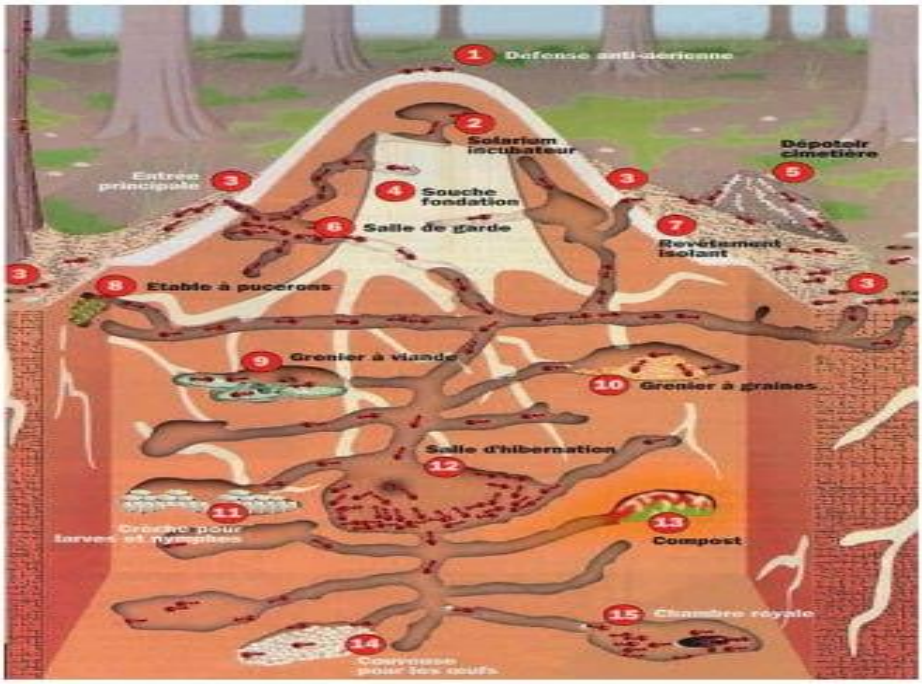


Figure 10 : Fourmilière en dôme **(Lager et al., 2015).**

b. Fourmilière arboricole

Les fourmilières arboricoles, les fourmilières dans les arbres, en rassemblant les feuilles entre elles grâce à la soie sécrétée par les cocons des fourmis, celles-ci présentent une durée de vie très courte (Figure 11).



Figure 11 : Fourmilière arboricole **(Lager et al., 2015).**

c. Fourmilière souterraine

Les fourmilières souterraines sont un ensemble de galeries irrégulières (Figure 12)



Figure 12 : Fourmilière souterraine **(Cournault, 2013)**

d. Fourmilière en amas

La fourmilière en amas, un type de fourmilière très rare se compose du corps des ouvrières encastrées les unes aux autres (Fig 13)



Figure 13 : fourmilière en amas **(Lager & al, 2015)**

II.2.6.7. Structure de la colonie

Les fourmis sont l'un des plus connus des insectes sociaux. Parmi les femelles, on trouve deux ou trois espèces distinctes. **Bellmann (1999).**

La reine est une personne qui se distingue morphologiquement des ouvrières. Elle présente peu de différences avec celle des ouvrières, à l'exception de la forme des yeux plus larges et de la présence d'ocelles. Il y a des sillons autour du thorax. Les ailes antérieures ont une taille plus importante, mais elles ont au moins huit cellules fermées et s'écartent de leurs ailes postérieures. les colonies peuvent être créées seules ou avec l'aide d'ouvrières accompagnatrices, souvent en s'introduisant dans des fourmis étrangères.La plupart du temps, une reine par colonie (société monogyne) est dédiée exclusivement à la ponte, mais de nombreuses espèces ont plusieurs reines (société polygyne). **Bellmann (1999).**

Les ouvrières sont responsables de la construction du nid, du ravitaillement et des soins aux couvains. **(Bellmann, 1999).**

Les mâles ne se montrent qu'à certaines périodes spécifiques de l'année (variables en fonction des régions). **(Bellmann, 1999).** Leurs ailes sont pratiquement toujours bien développées, comme les jeunes reines, qui naissent au même moment, et ils ne font que

féconder ces jeunes reines. Ils décèdent peu de temps après le vol de leur mariage **(Bellmann, 1999).**

II.2.6.8. Communication chez les Formicidae

Chez les fourmis, on peut mentionner diverses formes de communication telles que :
Communication visuelle : Le recours à la communication visuelle est de plus en plus rare. Chez les fourmis. Elle était beaucoup plus courante au stade initial de l'évolution **(Lager et al., 2015)**

Communication visuelle : Les fourmis utilisent de moins en moins la communication visuelle. Elle était beaucoup plus courante au stade initial de l'évolution **(Lager et al., 2015).**

Communication tactile : Les fourmis peuvent se "connecter" entre elles grâce aux antennes afin de partager directement les informations qu'elles souhaitent transmettre **(Lager et al., 2015).**

Communication chimique : L'échange d'informations se fait chez les fourmis, tout comme chez de nombreux insectes sociaux, par la production et la perception de molécules appelées phéromones. On utilise ces phéromones dans diverses formes de communication : Les mâles sont attirés par les femelles (ou l'inverse), la communication entre la reine et les ouvrières, la démarcation des territoires, le recrutement de fourmis, les phéromones d'alarme **(Caraglio, 2003).**

Communication acoustique (échange sonore) : Certaines fourmis ont un organe de stridulation situé au niveau de l'abdomen pour communiquer acoustiquement. Ces stridulations sont utilisées comme un signal de détresse, incitent d'autres fourmis à se joindre à elles pour une tâche à accomplir ou encore informent sur la qualité nutritive d'un aliment. **(Caraglio, 2003).**

II.2.6.9. Régime alimentaire des fourmis

Varie considérablement en fonction des genres. Les fourmis sont principalement omnivores et leur régime alimentaire est assez diversifié car elles peuvent l'ajuster en fonction des ressources du milieu (**Hulle et al. (1998)**. Elles se nourrissent à partir de diverses sources, comme les semences, le grain. **(Cagniant (1973).**
Il peut s'agir de nectar, de champignons, de sécrétions d'insectes, de cadavres, de matières fécales, de proies vivantes de différents arthropodes, ou d'un mélange de ces éléments **(Bolton, 1994).**

II.2.6.10. Rôle et importance des formicidae

II.2.6.10.1. Dans la nature

Les fourmis jouent un double rôle en tant que prédateurs qui régulent les populations de nombreux autres insectes et en tant que pollinisateurs. Les arthropodes sont considérés, en effet, comme les plus grands prédateurs. **Dyer (2002) et Philpott et al. (2008).**

Elles jouent un rôle essentiel dans la lutte biologique contre les bioagresseurs phytophages en raison de leur fonction de prédation. **Yemeda et al. (2013) et Vayssieres et al. (2011).**

Les fourmis jouent des rôles divers selon les espèces et des rôles communs à la plupart d'entre elles dans l'équilibre de la nature. Les insectes carnivores, certains, restreignent les populations d'autres. De cette façon, dans les Alpes italiennes, les fourmis tuent chaque année 14 individus.

Millions de kilogrammes d'insectes de forêt. Les fourmis sont des espèces protégées dans certains pays, tels que la Suisse **(Yemeda et al., 2013 ; Vayssieres et al., 2011).**

La distribution des graines des plantes qu'elles transportent est essentielle pour les fourmis granivores. Elles jouent un rôle crucial dans la préservation de la santé des sols en les aérant et en leur apportant des éléments organiques (leurs crottes, leurs cadavres, leurs résidus). **(Yemeda et al., 2013 ; Vayssieres et al., 2011).**

Ils absorbent des restes de nourriture, de l'humidité et de l'oxygène et les combinent **(Yemeda et al., 2013 ; Vayssieres et al., 2011).**

II.2.6.10.2. Dans les agroécosystèmes

Les fourmis jouent un rôle essentiel dans les agrosystèmes en favorisant la bioturbation des sols, en régulant les insectes phytophages et en fournissant des services écosystémiques. **(Diameet al., 2015 cité par Toukali, 2017).**

Le moment des pollinisateurs involontaires de fleurs. L'étendue de leurs fonctions est proportionnelle à la grande variété de leur groupe par rapport à d'autres taxons animaux. **(Diameet al., 2015 cité par Toukali, 2017).**

II.2.6.10.3. Sur l'environnement

La grande diversité des fourmis, leur présence dans presque tous les écosystèmes terrestres et leur part significative dans la biomasse animale témoignent de leur succès écologique. Leur comportement social, qui est également présent chez d'autres espèces d'insectes**. (Le Breton, 2003).**

Les abeilles, les guêpes et les termites sont en grande partie responsables de cette réussite,

En raison de leur variété de comportements, les fourmis occupent une place essentielle dans les écosystèmes terrestres : elles sont considérées comme des « espèces clés de voûte » ou « Keystones species ». Elles jouent le rôle de prédateurs et de régulateurs. **(Le Breton, 2003).**

Les populations d'autres insectes, des éboueurs qui effacent les cadavres d'insectes ou de petits animaux, des pollinisateurs et des acteurs clés dans la dispersion des graines et l'enrichissement des sols (**Le Breton, 2003).**

II.2.6.10.4. En tant que bio-signaux

Les fourmis sont un groupe bio-indicateur parfait en raison de leur grande variété, de leur présence élevée dans presque tous les habitats et de la facilité de collecte des espèces **(Majer, 1983).**

Elles présentent également d'autres bénéfices en raison de leur stabilité relative dans leurs mouvements par rapport à d'autres insectes, de leur importance écologique en tant que prédateurs, proies, détritivores, mutualistes et herbivores. Cependant, elles sont vulnérables aux variations/perturbations de leur environnement en raison de leurs relations étroites avec celui-ci **(Majer, 1983 ; Alonso, 2000).**

De nombreux programmes d'évaluation de la biodiversité utilisent ces méthodes **(Agosti et al., 2000 ; Dieng et al., 2016).**

II.2.6.10.5. Fourmis comme bio-indicateurs

Les fourmis sont un groupe bio-indicateur parfait en raison de leur grande variété, de leur présence élevée dans presque tous les habitats et de la facilité de collecte des espèces. **(Majer, 1983).**

Elles présentent également d'autres bénéfices en raison de leur stabilité relative dans leurs mouvements par rapport à d'autres insectes, de leur importance écologique en tant que prédateurs, proies, détritivores, mutualistes et herbivores. Cependant, elles sont vulnérables

aux variations/perturbations de leur environnement en raison de leurs relations étroites avec celui-ci **(Majer, 1983 ; Alonso, 2000).** Elles sont employées dans plusieurs programmes d'évaluation de la diversité biologique. **(Agosti et al., 2000 ; Dieng et al.,2016).**

Elles impactent à la fois les zones de surface (comme les plantes et les invertébrés) et les zones souterraines (comme le sol et les invertébrés) **(Figure 14).** Certaines espèces sont importantes en tant qu'ingénieurs du sol, prédateurs, recycleurs de nutriments et régulateurs de la croissance et de la reproduction des plantes **(Folgarait 1998; Zelikova et al. 2011; Del Toro et al. 2012).** Les nids de ces animaux sont des régions où la diversité du sol et celle des communautés (animales et végétales) est optimale **(Lobry de Bruyn 1999; Kristiansen & Amelung 2001; Kristiansen et al. 2001; Lane & BassiriRad 2005)**

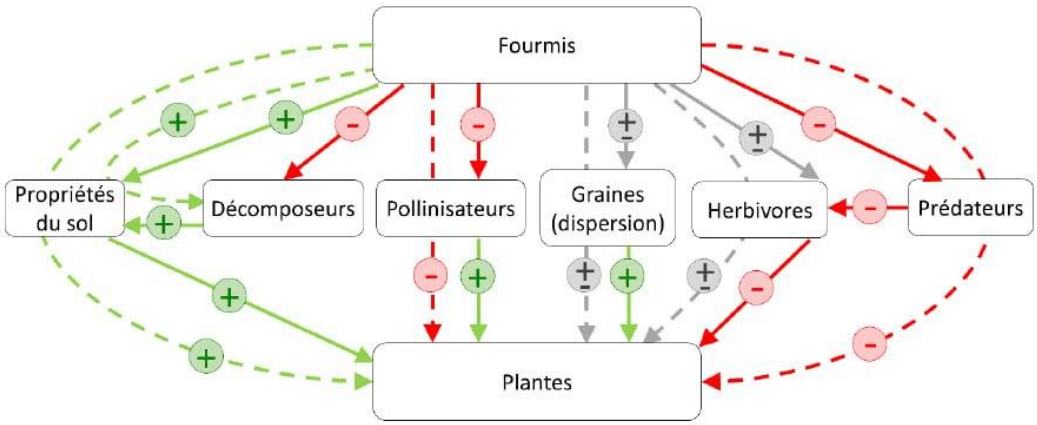


Figure 14 : Impacts directs (lignes continues) et indirects (lignes discontinues) des fourmis sur les compartiments abiotiques et biotiques. En rouge les interactions négatives, en vert les interactions positives et en gris les interactions pouvant être à la fois positives et négatives **(traduite d'après Wills & Landis 2018)**

Elles impactent à la fois les zones de surface (comme les plantes et les invertébrés) et les zones souterraines (comme le sol et les invertébrés) (Figure 14). Certaines espèces sont importantes en tant qu'ingénieurs du sol, prédateurs, recycleurs de nutriments et régulateurs de la croissance et de la reproduction des plantes. **(Folgarait 1998; Zelikova et al. 2011; Del Toro et al. 2012).**

Les nids de ces animaux sont des régions où la diversité du sol et celle des communautés (animales et végétales) est optimale **(Lobry de Bruyn 1999; Kristiansen & Amelung 2001; Kristiansen et al. 2001; Lane & BassiriRad 2005)**.

Les nids de ces animaux sont des régions où la diversité du sol et celle des communautés (animales et végétales) est optimale. Une meilleure compréhension du rôle des fourmis dans leurs écosystèmes permettrait d'approfondir nos connaissances sur leur utilisation dans des projets de restauration milieux aquatiques. Ces organismes sont actuellement employés en bioindication **(Casimiroet al. 2019**) Pour évaluer si la restauration d'un environnement est un succès ou non, il est important de souligner que malgré un potentiel intéressant, ils sont encore sous-exploités comme moyens de transformation. Les fourmis n'ont donc été utilisées qu'une seule fois pour rétablir un écosystème, à notre connaissance**. (Bulot 2014).**

II.2.6.10.6. Sur la végétation

Les fourmis peuvent altérer les caractéristiques physico-chimiques du sol, ce qui peut influencer le développement des parties endogées et épigées des plantes, favorisant ainsi leur germination, leur croissance et leur survie **(Dean & Yeaton 1993 ; Eldridge 1994).**

La dynamique des communautés végétales peut également être influencée par les fourmis, qui peuvent agir soit comme agents de dispersion des graines, soit comme prédateurs de graines, ou les deux **(Levey & Byrne 1993 ; Retana et al. 2004 ; Giladi 2006).**

Les graines sont dispersées par les fourmis selon deux mécanismes principaux, la myrmécochorie, c'est-à-dire la dispersion des graines par l'élaiosome, un appendice riche en lipides, attire principalement les fourmis non granivores et "compense" la dispersion des graines (**Bronstein et al. (2006) et Giladi (2006).**

On qualifie cette première relation de relation mutualiste (Bronstein et al. 2006). il est estimé qu'au moins 11 000 espèces d'angiospermes de 77 familles différentes sont réparties de manière myrmécocologique **(Lengyel et al. (2009).**

La diszoochorie, un autre mécanisme de dispersion, est réalisé par des espèces de graines. Une structure spécifique des graines n'a pas d'influence sur cela **(Retana et al. 2004 ; Vander Wall et al. 2005 ; Arnan, Rodrigo et al. 2010 ; Arnan et al. 2011)**.

Dans cette situation, il est possible que les graines soient perdues, laissées en chemin ou déposées à l'entrée du nid sur le déchet. D'une certaine façon, cette dispersion peut pallier la prédation des graines **(Arnan et al. 2011 ; Arnan et al. 2012).** Dans les deux situations, les graines restent capables de germer. Les fourmis, en particulier les fourmis granivores, ont

donc un impact significatif tant sur les communautés végétales que sur leur environnement. Cela s'applique particulièrement aux écosystèmes herbacés méditerranéens où les fourmis du genre Messor sont les plus répandues parmi les fourmis granivores **(Cerda & Retana 1994 ; Azcárate & Peco 2007).**

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

III.1. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la toxicité de certains pesticides sur les formicidae, considérés comme bio indicateurs de la qualité du sol. Le principe de cette démarche consiste à tester d'une part, l'effet de deux pesticides : un insecticide : Le FAST ESFENVALERATE 5%, un herbicide : Le FUSITOP et d'autre part, un angrais de fond NPK : 20 20 20 VIVA sur un formicidae appartenant au genre Messor.

Cette approche écotoxicologique est basée sur un test aigu, ainsi qu'un teste d'évitement visant à mesurer la mortalité de 50% de la population des formicidae.

III.2. Préparation des éléments expérimentaux

Afin de réaliser ce test de toxicité, des éléments sont indispensables pour effectuer les différentes étapes du protocole expérimental. En effet, des investigations sur le terrain sont nécessaires pour compléter et poursuivre le travail de laboratoire.

Au préalable, nous avons défini les lieux d'échantillonnage favorables à la prolifération du modèle biologique.

Au laboratoire, le biotest que nous avons choisi consiste à suivre un protocole intégrant :

- La préparation du sol comme substrat.
- La préparation des concentrations des pesticides.
- L'application des pesticides à différentes doses sur le modèle biologique.

III.2.1. Présentation des stations d'échantillonnage des fourmis et du sol

Le travail est réalisé dans la région de Médéa (Fig15) Le choix des stations d'échantillonnage est soutenu par l'idée que le milieu n'est pas au préalable traité par les pesticides. En effet, ce milieu est considéré comme étant un milieu favorable pour le développement du modèle animal choisi pour cette étude.



Figure 15 : Carte de localisation de la région de Tablat (**Google Earth, 2024).**

III.2.2. Méthode d'échantillonnage des formicidae

L'échantillonnage des fourmis est effectué dans la région de Tablat pendant la journée, entre Mars et Mai 2024, cette période correspond à une reprise d'activité printanière, coïncidant avec le cycle de reproduction chez les fourmicidae.

La méthode d'échantillonnage des fourmicidae.est basée sur la chasse à vue, en prospectant leurs habitats préférés tels que les jachéres, et les terres dénudées, entre les pierres et le bois mort.

Les fourmis collectées sur le terrain sont mises dans des boites et transportés au Laboratoire d'Agro-ecologie de la faculté des Sciences au niveau de l'Univérsité Yahia fares-médéa, où nous effectuons une identification et un tri.

Avant de commencer le test de toxicité, nous avons fait séjourner les fourmis pendant 24 heures au laboratoire, cela leur permettrait de s'acclimater aux conditions du lieu expérimental.

III.2.3. Méthode de prélèvement du sol

Le prélèvement du sol a été effectué à l'aide d'une pioche et petite pelle, ensuite transporté vers le laboratoire. Pour éliminer toute macrofaune et pierres trouvées dans le sol,

ce dernier est tamisé par un tamis à mailles de 2 mm de diamètre, puis chauffé dans une étuve à 80°C pendant 1h, afin d'éliminer toute forme de microorganismes et microfaunes (Fig.17).



Figure 16 : Échantillonnage des fourmis et prélèvement du sol, **(**a) : Opération de prélèvement du sol, (b): Passage du sol à l'étuve réglée à 80°C, (c): Tamisage su sol. (Original, 2024).

III.2.4. Choix des pesticides

Le choix des pesticides s'est fait selon une enquête menée auprès des points de ventes des pesticides et des produits agricoles dans la wilaya de Médéa. L'enquête à bien révélé qu'au sein de cette région le FAST ESFENVALERATE 5%, et le FUSITOP sont les pesticides les plus utilisés. Pour appuyer cette enquête sur l'utilisation des pesticides, nous nous sommes rapprochés auprès des agriculteurs ainsi que des points de vente des produits phytosanitaires. Cette initiative à bien confirmé l'utilisation fréquente de ces pesticides par les agriculteurs de la région de Médéa. Au cours de cette enquête, il nous a été révélé que l'engrais NPK fait partie aussi des produits phytosanitaires les plus utilisé dans la région.

L'insecticide : Le FAST ESFENVALERATE 5%, : cencentré emulisionnable EC agit par contact et ingestion, pour lutter contre Carpocapse, Psylle, Pucerons, Tordeuse, Noctuelle et Punaises sa matiére actif est Esfenvalerate 5%.

L'herbicide : Le FUSITOP : systémique de post-levée actif contre les graminées annuelles et bisannnuelles sa matiére actif fluazifop-P-butyl.

Angrais de fond : NPK : 20 20 20 est un type d'engrais équilibré qui contient trois éléments nutritifs principaux nécessaires à la croissance des plantes : l'azote (N), le phosphore (P), et le potassium (K). Ces éléments sont présents en parts égales, chaque élément représentant 20 % de l'engrais par poids.

III.2.5. Choix du modèle biologique

Le modèle biologique choisi pour évaluer la toxicité des pesticides sur le sol, fait partie des formicidae., ce taxon est choisi en éco toxicologie en raison de son abondance sur le terrain, sa facilité d'échantillonnage, et son rôle important dans la dégradation de la matière organique et son utilisation autant de bioindicateures dans différents agroécosystèmes, ainsi que son abondance sur le terrain.

III.2.6. Identification des fourmicidae

L'identification des fourmis est faite à l'aide d'une clé d'identification (Bolton,2000-2011), en se basant sur la couleur de la tête, thorax et abdomen, longeurs des antennes Une confirmation des espèces est faite par Pr Chakali (Poofesseur à l'ENSA École National des Sciences Agronomiques à Alger. Le poids des individus est mesuré à l'aide d'une balance de précision de 0.1mg (Figure .17).,



Figure 17 : Model biologique utilisé : *Messor barbarus* (Original, 2024)

III.3. Test de toxicité aigue

Ce sont des essais à court terme (quelques minutes, heures et à quelques jours), après exposition aux substances à différente doses. Ces essais permettent d'établir une relation entre les concentrations d'exposition et l'intensité de l'effet, et la durée d'exposition au polluant

Pour la durée d'exposition on a choisis les temps suivants :15,30, 45mn,1,2,3,5 ,6,8,16, 24 heures.

III.3.1. Préparation des concentrations des trois produits phytosanitaires

Pour chaque produit testé, nous tenons compte de la dose utilisée sur le terrain, considérée comme dose de référence. À partir de celle-ci, nous préparons par ordre

logarithmique décroissant deux doses supérieur à la dose agricole, ainsi que trois doses inférieur : 12.5%.25%,50%,100%,200% ,400%

III.3.1.1. L'insecticide

La dose d'emploi de cet insecticide est de 1,5 ml pour 1 litres d'eau, sachant que la masse de sa matière active est de 5% de Esfenvalerate sur 1.5L de produit, ce qui correspond à 750mg de matière active par litre d'eau lors de l'application sur le terrain. Pour assurer une bonne imitation sur le terrain les concentrations utilisées dans ces essais doivent être supérieurs, inférieures ou égales à celle appliquée sur le terrain. En effet, les concentrations testées sont de l'ordre de : 93.75, 187.5, 375 ,750, 1500, 3000 mg de matière active par 170 g de sol

III.3.1.2. L'herbicide

La dose d'emploi de ce herbicide est de 1,5 ml par 1litres d'eau, avec une densité matière active de 12,5% de masse du produit, ce qui correspond à 125mg de matière active par litre d'eau. Les concentrations testées pour cet herbicide sont donc de : 15.625, 31.25, 62.5, 125, 250, 500 mg fluazifop-P-butyl par 170g de sol.

III.3.1.3. NPK 20-20-20

La dose d'emploi de cet angrais est de 4 g pour 1 litre d'eau, ce qui correspond à 240 mg de matière active par litre d'eau.

Les concentrations testées pour cet insecticide sont de :0.5 ,1,2,4,8,16 mg de la matière active par 170g de sol.

III.4. Contamination des fourmis

Le protocole expérimental utilisé pour ce test de toxicité nécessite, la préparation de 57 boites en polyéthylène ayant les mêmes dimensions, à couvercle perforé pour l'aération.

Avant l'application des concentrations nous avons préparé un substrat favorable pour les fourmis, (Fig.18) constitué de 170g de terre étuvée

À différentes concentrations, les pesticides sont appliqués sur les substrats préparés de la même manière d'application sur le terrain, nous tachons à couvrir de façon homogène le substrat par les pesticides en appliquant une pulvérisation dans les quatre angles de la boite ainsi que le centre.

Après pulvérisation des pesticides, on laisse un temps de 45 mn pour imprégnation du substrat au contaminant.

L'insecticide, herbicide et l'engrais sont appliqués avec six concentrations en trois répétitions d'ordre décroissant pour chacune.

Pour une meilleure exploitation des résultats, nous avons utilisé un témoin pour chaque concentration choisie.



Figure 18 : Préparation des milieux contaminée (Original,2024)



Figure 19 : Application des traitement (Originale 2024)

III.5. Test de réaction aigue d'évitement

En complément du test de toxicité aiguë, nous avons effectué un test d'évitement, Pour avoir plus d'information sur la toxicité des pesticides choisis**.** Ce biotest évalue l'aptitude des formicidae à éviter les sols contaminés. Il suit la norme ISO ***17512-1:2008*** et la méthode SPE 1/RM/43 d'Environnement Canada (Environnement Canada, 2004).

Cet essai d'évitement a pour objectif de contrôler la qualité des sols et évaluer l'effet des pesticides choisis sur le comportement des fourmis adultes, de l'espèce ***Messor barbarus.***

III.5.1. Fabrication de l'enceinte expérimentale

À défaut d'appareillage approprié au test d'évitement, nous avons confectionné un système presque similaire à celui utilisé par Environnement Canada (2004)

Chaque enceinte expérimentale est constituée d'un récipient en plastique circulaire, ayant un diamètre de 230 mm. Au centre du récipient nous installons une cheminée d'un diamètre de 54 mm. Autour de celle-ci on réalise des séparations aboutissant à 4 compartiments sectoriels d'une capacité d'environ 350 ml de sol. Afin de permettre un libre déplacement des furmis entre la cheminée qui est dépourvue de substrat et les compartiments renfermant les sols, nous perçons des orifices de 1 cm de diamètre au niveau du bas de la paroi de la cheminée (deux par compartiment) ainsi qu'au niveau des cloisons latérales de chaque compartiment (trois par côté).

III.5.2. Contamination des fourmis

Pour réaliser le test d'évitement des sols en employant les fourmis adultes, de l'espèce ***Messor barbarus***, nous avons rempli chaque compartiment de 350 ml de sol passé préalablement dans une étuve réglée à 105 C° durant 24. Au niveau de l'enceinte, nous avons alterné entre un sol contaminé et un sol non contaminé. Chaque sol est étiqueté pour permettre l'identification de l'échantillon. Dix individus adultes ont été introduits un par un dans la cheminée centrale de l'enceinte expérimentale et on observe leur pénétration dans les compartiments. Pour permettre l'aération des fourmis, nous avons placé un couvercle perforé sur chaque enceinte expérimentale (figure 20).

Pendant l'essai qui est d'une durée de 48 heures on n'alimente pas le matériel animal. Trois répétitions ont été réalisées pour mieux exploiter les résultats.



Figure 20 : Le déroulement de test d'évitement (Original,2024).

III.6. Analyse Histologique

Afin d'enrichir les résultats obtenus lors du test aigu, nous avons jugé utile d'effectuer des coupes histologiques au niveau de la cuticule des formis.

III.6.1. Matériel et méthodes

Afin d'effectué cette analyse nous avons utilisé le matériel suivant : -Appareil de circulation.

-Appareil d'enrobage.
- Microtome.
- Plaque chauffante.
- Plaque réfrigérante.

III.6.2. Étude histologique

L'histologie est réalisée au niveau du laboratoire Agro-ecologie de la faculté de la Sciences de l'Université Yahia Fares de Médéa.

La technique utilisée est celle proposée dans l'ouvrage de Hould (1984). Les différentes étapes suivies sont listées ci-après et illustrées dans la figure 21.

Le test de toxicité aigüe, les individus de formis morts après l'exposition aux contaminants sont conservés dans le formol à 10%, cela permettra d'accomplir l'étude histologique de la cuticule. Plusieurs étapes ont été effectuées : fixation, inclusion, coupe, coloration et montage pour des observations microscopiques.

1.Fixation

La cuticule est fixée dans une solution de formol à 10% pendant 48 heures. Cette étape est destinée à immobiliser les cellules et tissu dans un état aussi proche que possible de leur état vivant. Les organes sont par la suite placés dans des histo-cassettes marquées.

2.Incubation

Les histo-cassettes sont mises dans un panier de l'appareil automate de circulation, contenant 12 cuves, ce qui a permis la réalisation des trois étapes suivantes :

2.1. La déshydratation : les échantillons sont immergés successivement dans huit cuves d'éthanol à concentration croissante (de 70 à 100%) pendant 45 min pour chacune. Cette étape permet d'éliminer l'eau des tissus.

2.2. La clarification : effectuée par le passage des échantillons dans deux bains de xylène pendant une heure. Cette étape permet de remplacer le fixateur (Alcool) par un agent miscible à la paraffine.

2.3. Imprégnation : c'est l'étape terminale de la circulation, elle consiste à immerger le panier dans deux bains de paraffine pendant 1heure 30 min pour chacun.

3.Enrobage

A pour but de donner une rigidité aux organes. Sur un appareil d'enrobage on a mis les échantillons dans des moules en inox puis on les a remplis avec la paraffine liquide. Ensuite, les moules sont déposés sur une plaque refroidissante afin de solidifier la paraffine pour la réalisation des coupes.

4.Réalisation des coupes

Les blocs de paraffine obtenus sont placés dans un microtome pour réaliser des coupes d'environ 2µm.

5.Déparaffinage

Les rubans obtenus sont déposés sur des lames du verre marqué puis immergées un court instant dans un bain marie de 70°C. Ces dernières sont incubées à 80°C pendant une nuit.

6.Coloration

L'étape de la coloration commence par l'éclaircissement du tissu en faisant passer les lames préparées dans un bain de Xylène pendant trente (30) minutes, suivi de la réhydratation dans un bain d'alcool (éthanol à 70 %) pendant dix (10) minutes, et enfin le rinçage à l'eau pendant dix (10) minutes. La coloration par l'hématoxyline est réalisée pendant trois (03) minutes pour colorer les noyaux en violet. Après rinçage à l'eau, une autre coloration à l'éosine est faite pendant cinq (05) minutes afin de colorer le cytoplasme en rose.

7.Montage des lames

Elle se déroule par le passage des lames dans un bain d'éthanol suivi d'un bain contenant un mélange d'éthanol/xylène et pour finir dans deux bains successifs de xylène. Quelques gouttes d'Eukit (colle biologique) sont déposées sur des lamelles avant d'être placées sur les lames. L'ensemble, lame et lamelle, est par la suite séchée à l'air libre

8.Observation microscopique

Après avoir terminé toutes les étapes de l'histologie, l'observation des lames obtenues est effectuée à l'aide d'un microscope optique de type Leica DM1000 LED muni d'une caméra Leica MC170 HD. Les images réalisées sont transférées et enregistrées dans l'ordinateur à l'aide du logiciel Leica Application EZ (LASEZ).

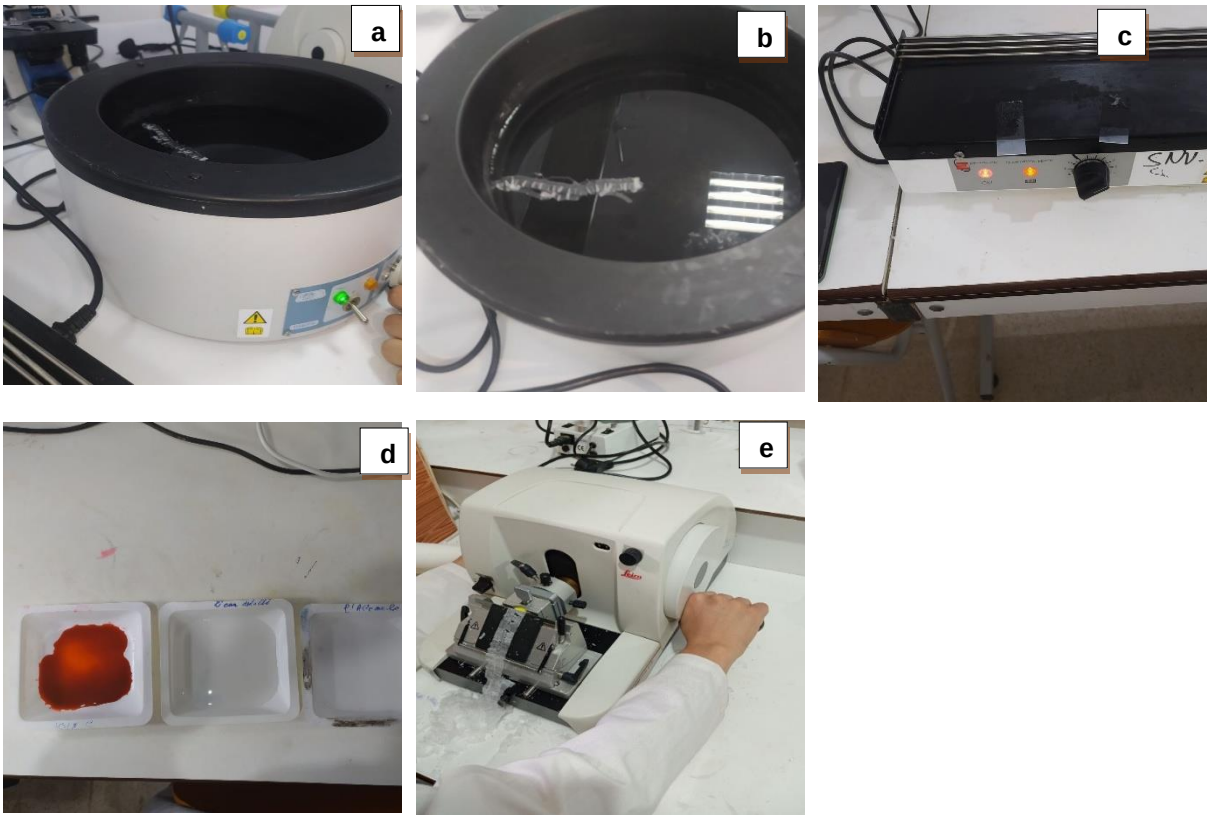


Figure 21 : Réalisation des coups histologique. (Original 2024)

a : Imprégnation dans les bains de paraffine**, b:** déparaffinage un bain marie **c :** incubation par plaque chaufante **d :**Coloration e :Réalisation des coupes **(Original 2024)**

III.7. Méthodes d'exploitation des résultats

L'analyse descriptive des résultats obtenus à travers cette étude, est basée sur l'interaction graphique des pourcentages des survivants en fonction des concentrations utilisées, pendant 24 heures d'exposition en utilisant à Microsoft Office Excel 2016.

Dans le but d'analyser objectivement les résultats obtenus de cette étude, nous avons procédé par une analyse descriptive, se basant sur l'interaction graphique afin de déterminer l'ampleur de la mortalité des individus en fonction des concentrations utilisées.

En ce qui concerne les résultats obtenus du test d'évitement, ils sont exprimés par le nombre des individues vivants dans les sols témoins et les sols contaminés, ce qui nous permet de calculer le taux d'évitement par la formule suivante :

Taux d'évitement = (Nbr individus sol non cont individus – Nbr sol cont individus) *100 / Nbr totale des individus.

-Nbr individus **sol non cont :** est le nombre des individus vivants trouvés dans tous les compartiments de sol non contaminé, à la fin de l'essai.

-Nbr individus **sol cont :** est le nombre des individus vivants trouvés dans tous les compartiments de sol contaminé, à la fin de l'essai.

-Nbr totale des individus **:** est le nombre total des individus vivants trouvés dans tous les compartiments, à la fin de l'essai.

IV. Résultats et Discussion

IV. Résultats et Discussion

IV.1. Essai de toxicité aigüe des pesticides sur les formis

Le test de toxicité que nous avons entrepris au cours de cette étude consiste à mesurer la mortalité des formis exposés à trois produits phytosanitaires un insecticide FAST ESFENVALERATE 5%, un herbicide : Le FUSITOP et un Angrais de fond : NPK : 20 20 20 pendant une durée de 24 hours. Cette approche de toxicité est abordée par un dénombrement des survivants.

IV.1.1. Effet de l'insecticide

Après 24 heures d'exposition, en dehors du témoin, on a observé que le taux de mortalité augmente en fonction des concentrations croissantes et en relation avec la durée de contamination. Une mortalité totale est notée à la concentration 750, 1500, 3000 mg /l, soit 0% de survivants. Pour les faibles concentration 93mg /l et 75 93mg /l on a dénombré 4 et 2 individus morts respectivement. 90/100 et 45/50 mg/l, les taux de survie sont respectivement de 57.66 et 80%.

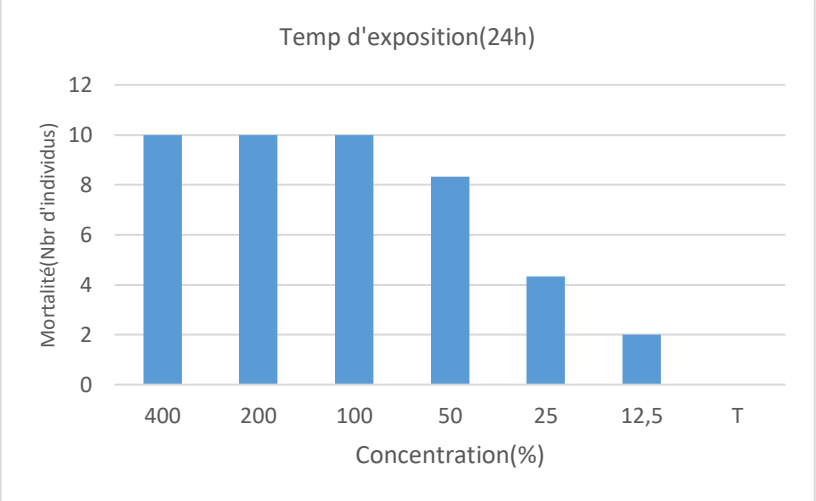


Figure 22 *:* Nombre de mortalités des formis au bout de 24 heures après exposition avec l'insecticide

La mortalité des individus a été signalé après 15 minutes de contact avec l'insecticide avec la doses 3000mg/quant à la dose 375 mg/l les premières mortalités signalées n'ont été observé qu'après 8 heures d'exposition

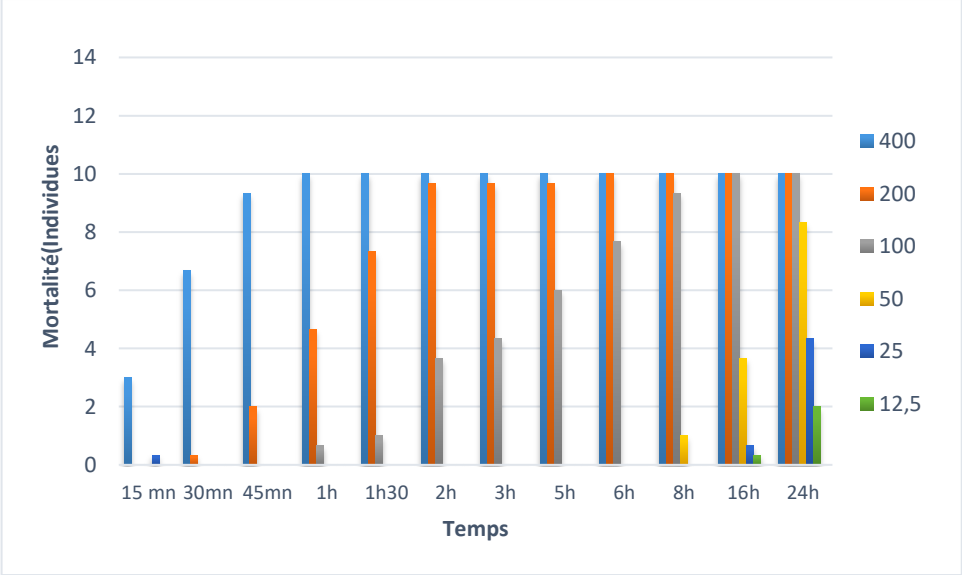


Figure 23 : Nombre de mortalités des formis en fonction des concentrations du temps et des concentrations de l'insecticide

IV.1.2. Effet du herbicide

Après 24 heures d'exposition au herbicide choisis, en dehors du témoin, on a observé que le taux de mortalité augmente en fonction des concentrations croissantes et en relation avec la durée de contamination. Une mortalité totale est notée à la concentration 125, 250, 500 mg /l, de fluazifop-P-butyl soit 0% de survivants. Pour les faibles concentration 15.625, 31.25mg/ l on a dénombré une mortalité de 3 individus morts chaqu'un. 90/100 et 45/50 mg/l, les taux de survie sont respectivement de 70% et 83.33%.

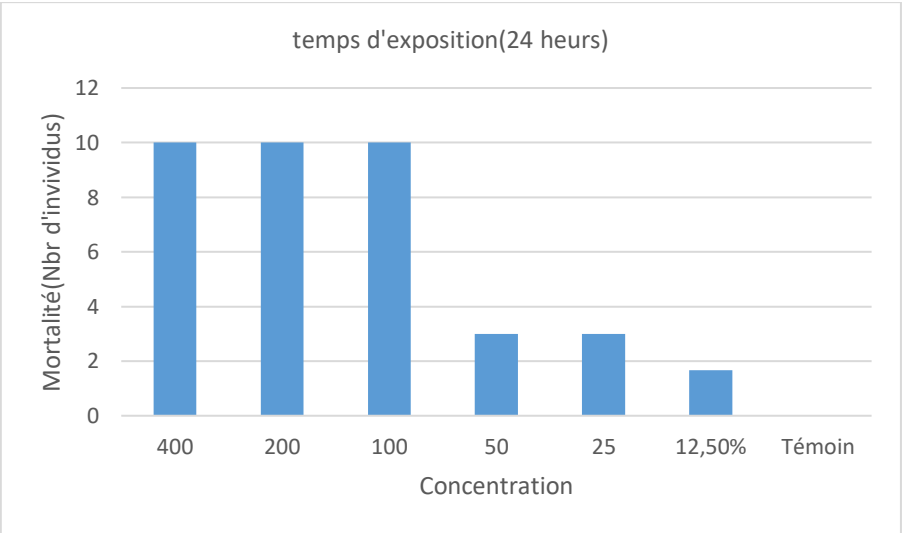


Figure 24 : Nombre de mortalités des formis au bout de 24 heures après exposition avec le herbicide

La mortalité des individus a été signalé après 15 minutes de contact avec le herbicide uniquement avec la dose 500 mg/quant à la dose 15.625 mg/l les premières mortalités signalées n'ont été observé qu'après 24 heures d'exposition au herbicide, quant au témoin aucune modification n'à été signalé avec 0% après 24 heures d'exposition.

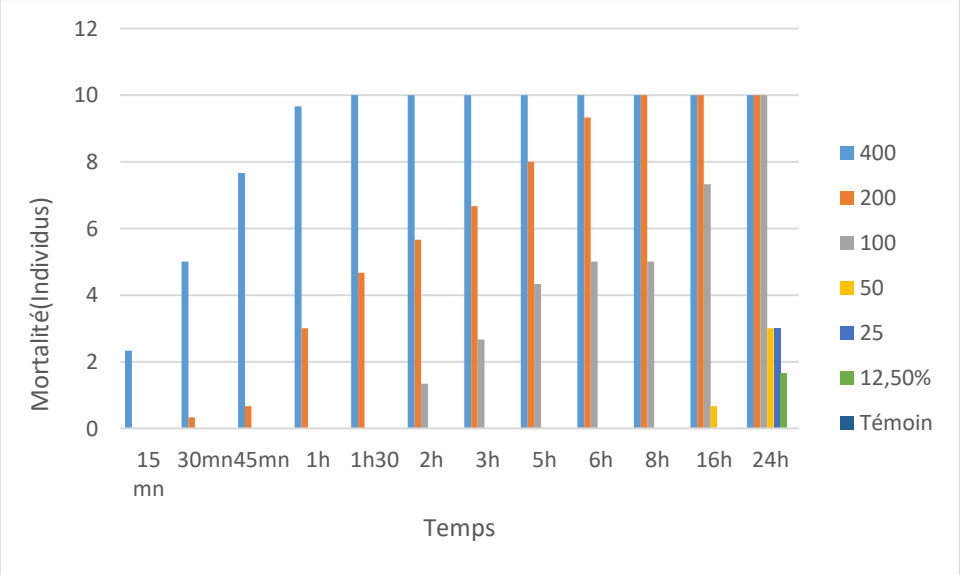


Figure 25 : Nombre de mortalités des formis en fonction du temps et des concentrations du herbicide

IV.1.3. Effet de l'engrais de fonds

Après 24 heures d'exposition à l'engrais de fond 3*20, Les doses les plus faibles 1 et 2mg/l ainsi que le témoin n'ont présenté aucun signe de toxicité avec 0% de mortalité on a observé aussi que les autres doses notées 2.4.8 mg /l, présentent une mortalité de 6.66%,16.66% et 33.33 % seul achèvent une mortalité globale de 100% après 24 respectivement.

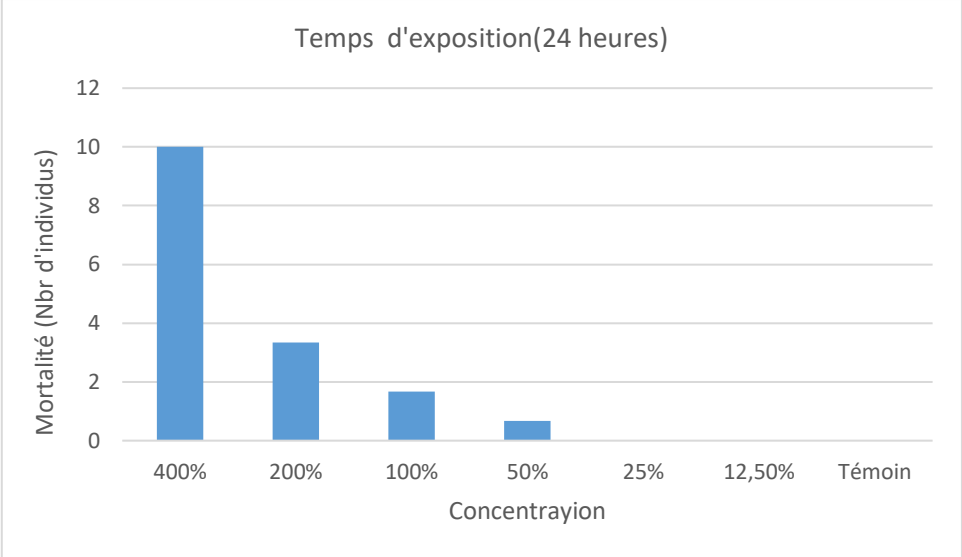


Figure 26 : Nombre de mortalités des formis au bout de 24 heures après exposition avec le herbicide

La mortalité des individus a été signalé qu'après 60 minutes de contact avec l'engrais de fond pour la dose la plus élevé uniquement 16 mg/quant les premières mortalités signalées pour les doses moins élevées sont d'ordre décroissant : après 16 heures une mortalité de 6.66% pour la dose 8mg/l, et 0% pour les autres doses inférieures

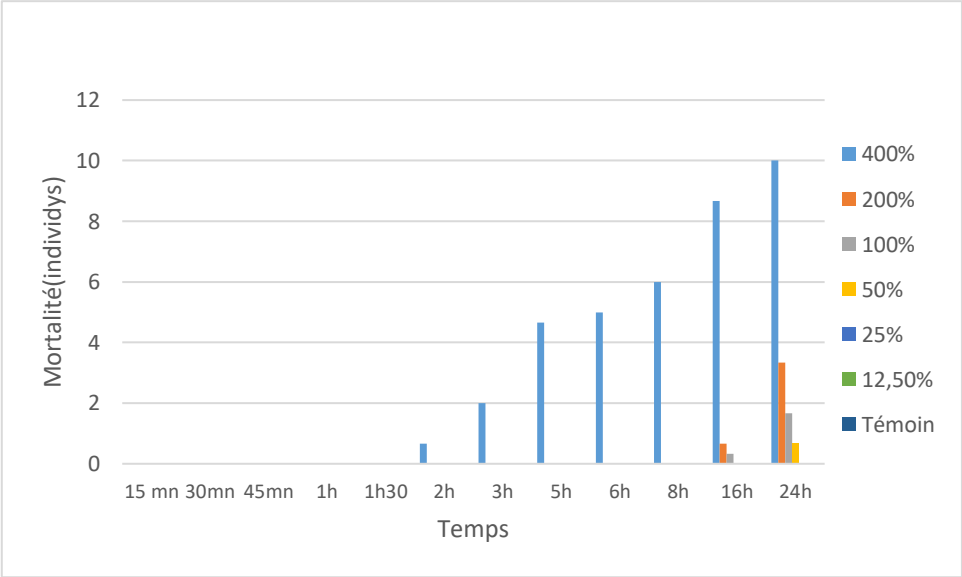


Figure 27 : Nombre de mortalités des formis en fonction du temps et des concentrations de 'engrais de fond

IV.1.4. Essai de test d'évitement des pesticides sur les formis

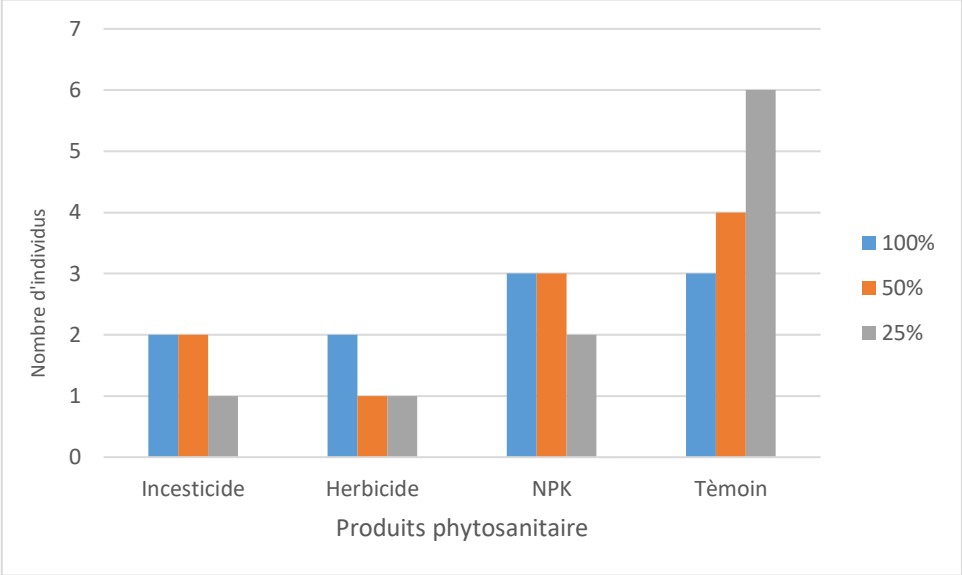


Figure 28 : Test d'évitement des formicidae envers les produits phytosanitaires

IV.1.5. Autres effets induits par les pesticides sur Messor barbarus

Chez les témoins, les coupes histologiques de la cuticule montrent une organisation architecturale normale avec une stratification successive des couches, epicuticule, pro cuticule distale, et pro cuticule maximale et couche membraneuse Par contre les individus exposés au pesticides à la plus forte concentration, celle utilisé sur le terrain, met en évidence des altérations au niveau de la cuticule qui se sont manifestées par la destruction de sa structure.

L'étude histologique réalisée sur la cuticule des formicidae pour les échantillons (témoins insecticide, pesticide, engrais) a révélé une organisation architecturale normale chez les témoins (Figure 29 a). Dans les groupes testés, les coupes histologiques montrent une désorganisation de l'architecture de la cuticule, indiquée par une divergence des jonctions cuticulaires des formis contaminés par les pesticides choisis On note une altération partielle et une désorientation de la stratification cuticulaire pour les formis contaminés par le **herbicide** (Figure 29 b). Cependant, une destruction totale est observée dans le groupe contaminé par l'insecticide (Figure 29 c).

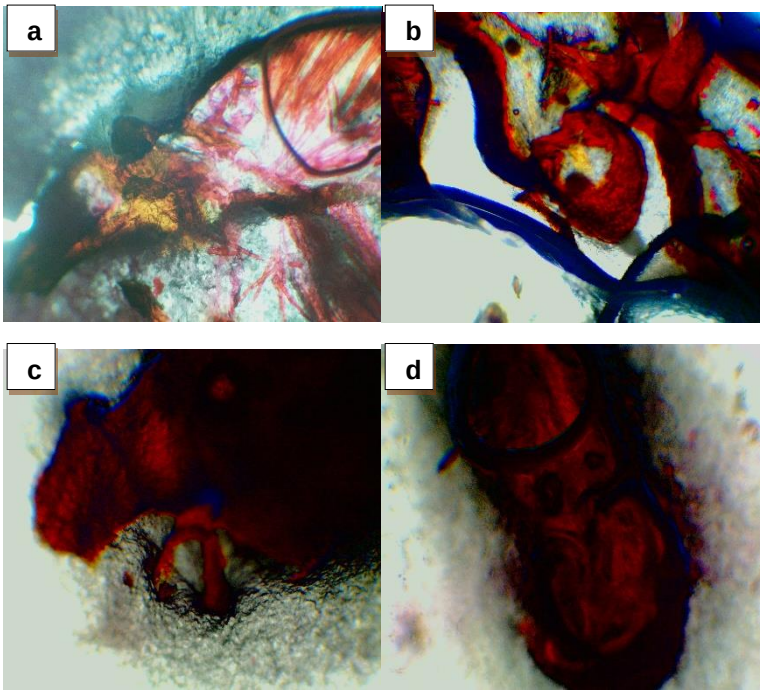


Figure 29 : Histologie de la cuticule des formicidae

A :insecticide :pesticide :angrais,d :Témoin

IV.2. Discussion

Cette étude s'inscrit dans une démarche globale d'évaluation du risque des pesticides sur l'environnement en s'appuyant sur une synthèse des principaux résultats obtenus par l'utilisation des bioessais écotoxicologiques. Les réponses des organismes à la contamination de leur environnement sont conditionnées par de nombreux facteurs biologiques et environnementaux. Elles peuvent par conséquent présenter une forte variabilité dans l'espace, le temps mais aussi entre individus et populations.

La préservation de la qualité des sols est devenue au même titre que la protection des milieux aquatiques et aériens. Pour cela, il est indispensable d'utiliser des espèces bioindicatrices qui reflètent la qualité des sols en utilisant les invertébrés terrestres, qui font l'objet de plusieurs recherches, ces derniers ont une forte sensibilité aux variations physicochimiques de leur milieux **Bride *et al.*, (1993) in Douafer, (2010)**.

Au cours de notre étude on s'intéresse à l'espèce *Messor barbarus,* notre chois ce justifié d'une part son abondance, large distribution géographique, sa facilité d'échantillonnages, son accessibilité, son rôle prépondérant dans la structure des sols,ces critères permettent son utilisation comme modèle biologique de choix dans la bioindication **(Godet, 2010)**. Bien que les fourmis sont extrêmement des bio-indicateurs de pollution et biosurveilleurs de la qualité du sol, néanmoins peu d'études qui ont exploités leurs propriétés majeures pour l'évaluation éco-toxicologique des produits dangereux. L'espéce.d'après **Mallon et al. 2001 ; Franks et al. 2002, 2003** toutes les espèces de Formis peuvent être des espèces bioindicatrices de la qualité des sols même les espèces qui sont mise en programme de lutter contre et cela est due au faite la courte latence entre découverte et recrutement sur le site dont lequel sont installées.

Les résultats obtenus à l'issue de ce travail montrent qu'il a été possible de mettre en évidence un effet temps -effet dose du pesticide et donc de définir certaines paramètres écotoxicologiques tels que le test d'évitement. Sur la base des données obtenues dans ce travail, les trois molécules chimiques semblent présenter un risque particulier, soit en raison de leur accumulation dans les tissus, soit en fonction de leur toxicité.

En Premier lieu, aucune mortalité n'est enregistrée durant les 24 heures qui suivent le traitement pour les lots témoins, ou la mortalité naturelle n'a été observé qu'au bout du 3eme jour, achèvent une mortalité de 100% des individus après plus de 8 jours d'exposition, D'âpres **Cerdan,1989** l'espèce *Méssor barbarus* ne vit qu'on colonie arrivant à 8000

individus, ces fourmis creusent des nids composés d'un réseau de galeries avec interconnexions avec chambres communicantes contenant du couvain, des ouvrières et chambres à graines, ce qui explique cette mortalité après plusieurs jours.

Pour les trois produits phytosanitaires, nous avons mis en évidence une mortalité aux plus fortes concentrations qui constituent la dose agronomique ainsi que les deux doses supérieures 400%,200%,100% ce qui constitue un premier indice de toxicité potentiel. D'autres pesticides ont été testé sur d'autres espèces de la pédofaune tel que les cloportes *Armadillidium sp*, ou d'après (**Benmouhoub ,2020)** les pesticides ont un grand impact non seulement sur la disponibilité mais aussi la mortalité des individus. Les résultats obtenus révèlent que le Esfenvalerate est produit le plus toxique avec un taux de mortalité arrivant à 100%. Ces résultats sont similaires a des études précédentes à ceux de notre étude dont le taux de survie des vers de terre est 100% à des concentrations supérieures au doses agronomiques La différence entre ces résultats et les nôtres revient principalement à la différence d'espèces utilisées comme modèle biologique dans l'essai (**Benmouhoub ,2020 Anonyme, 2006,)**

Nous avons constaté que plusieurs études effectuées pour révéler l'effet pesticides sont basées sur la recherche des nouveau biomarqueurs, nouvelle cible cellulaires ou bien leur effet sur les organes internes tel que l'hépatopancréas chez les lombricidea ou la cuticule sur les cloportes ou les formicidae **(Gasmi et al**.,**2017)**.D'autres travaux **(Toumi, 2013)** ont aussi évoqué l'écotoxicité des plusieurs pesticides tel que le décis, dursban and mancozeb ou la déltaméthrine sur différentes souches de *Daphnia magna* en abordant l'aspect de la protéomique dans la recherche de nouvelles cibles cellulaires.

Les pesticides qui appartient à la famille des pyréthrinoïdes, sont considérée comme une substance toxique, car elle n'est pas complètement dégradée ni rapidement métabolisée et de ce fait s'accumule dans les lipides **(Sayeed** et al., **2003).**

Au cours de notre travail, il n'a pas été possible pour nous d'analyser la composition biochimique exacte des individus après contact avec les polluants pour expliquer leurs acheminements après contamination. Ce constat suscite des interrogations sur les modalités de reconditionnement des produits phytosanitaires. À partir des résultats qu'on a obtenus, le recours à la recherche de leur accumulation dans les tissus des formicidae est la seule approche qu'on a pu adopter.

L'étude histologique démontre que lors de l'acheminement du pesticide une dégradation dans les cellules de la cuticule des formicidae localisés principalement dans la tête et l'abdomen des individus a été détecté chez les individus contaminés par polluants choisis qui est notablement marqué en comparaison avec les tissues des individus considérés comme témoin Cette localisation peut être critique car elle suggère une absorption et une accumulation sélectives de pesticides dans les parties du corps qui pourraient influencer directement la fonction neurologique et métabolique des fourmis.

Malheureusement, il n'y a pas d'étude liée à l'effet des produits choisis dans notre étude sur les invertébrés terrestres, Par contre d'autres études se sont effectuées sur les invertébrés aquatiques tel que *Daphnia magna***.** Les études relatives sa cette dernière espèce montrent qu'il y a une toxicité aigüe élevée avec une DE50 après 48h est de 2,9 mg/l **(Anonyme, 2011).**

Autres études sur l'impact des pesticides sur la faune du sol ont été réalisé tel que les travaux de **Yesguer (2015) sur l'Annelide** Aporrectodea caliginosa , ces résultats corroborent ceux de notre étude. Aussi, Vermeulen et al (2001), Ioriatti et al (1992) et Zaidi (2017) sur *Octodrilus complanatus* (Annelid) confirme cette faible toxicité du mancozèbe respectivement dans l'espèce Eisenia Andrei (Annelid) et l'acarien prédateur Amblyseius Andersoni.

D'après **(Bostanian et al., 1998)** le mancozèbe qui a une formulation proche des engrais n'a même eu aucun effet sur *Amblyseius adulte erreurs* (espèces d'Acariens) les résultats s'expliquent par la faible solubilité de ce herbicide dans les lipides, ce qui est similaires à nos résultats ou le herbicide : fluazifop-P-butyl présente une toxicité faible de celle de Esfenvalerate choisis dans notre etude, tandis que l'engrais de fond 3*20 sa toxicité est moins notable que les pesticides précédents. Aussi des travaux similaires ont été obtenues par **Yesguer 2015** sur *Aporrectodea caliginosa*. En revanche, la DL50 d'un autre engrais à été déterminé par **Vermeulen et al (2001),** sur un autre ver de terre espèce (Annélidé) ; 1262mg/kg sur *Eisenia andrei* 500 mg/kg et sur *Perionyx exacavatus* par **De Silva et al (2010),** ou mémé avec des concentrations élevés pour les engrais appliqués une efficacité minimum été signalé

Selon l'article 2, paragraphe de la Directive 2006/797/CE, à compter du 22 mai 2007 les autorisations pour les produits phytopharmaceutiques doivent être suivis par un control continu, à cause de leurs toxicités élevées sur les invertébrés du sol **(INERIS, 2011).**

Les effets toxiques importants apparue par la mortalité induite par les pesticides, se manifeste facilement dans les tissus des animaux **(Rice et al., 1997)**. Après pénétration à l'intérieur du corps, ces produits inhibe le fonctionnement de l'enzyme acétylcholine estérase (neurotransmetteur du système nerveux) (**Mileson et al.,1998 ; Venkateswara et al., 2004 ; Sánchez et al.,2014 ; Morgado et al.,2018)** et donc prévenir la dégradation de l'acétylcholine **(Regnault, 2005).** Ce neurotransmetteur s'accumule dans les synapses et provoque une hyperexcitation conduisant à la mort.

Pour le test d'évitement des pesticides l'expérience d'évitement montre que les fourmis ont manifesté une préférence pour éviter les zones traitées avec l'insecticide et l'herbicide, bien que cette aversion soit moindre pour le NPK par rapport au groupe témoin. Cette réponse comportementale indique une reconnaissance des substances nocives et une tentative de minimiser l'exposition.

L'impact massif observé et la mortalité importante enregistrée, peuvent être expliqués par l'effet toxique des matières actives du pesticide. A travers les différentes concentrations. D'autre travaux ont étudié la toxicité du chlorothalonil sur des modèles biologiques différent et montrent que cette substance est extrêmement toxique chez les poissons (DL50 – 96h= 23 à 84 ppb) et les invertébrés aquatiques douce **Daphnia magna** et aussi les algues vertes sont sensibles à ce herbicide (www.SAGEpesticides.com).

À partir des études de **Lorenzo** et al **(2003),** montrent que les vers introduits dans le sol au quel le chlorothalonil a été incorporé (5 fois le taux d'application recommandé à 0,9 g dans 4700 cm3 de sol) révèlent une réduction de la longévité d'environ 50% par rapport aux témoins après le début du traitement, en parallèle aussi la reproduction a été pratiquement éliminée. La deuxième matière active l'azoxystrobine rentrant dans la composition du herbicide (Priori Opti) présente une toxicité élevée chez les poissons et les invertébrésd'eau douce avec une DE50 après 48h est de 50000 µg/l chez les **Daphnia magna** et des effets d'intoxication et d'immobilisation sont observés **(Anonyme,2004).**

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

À l'issu de ce travail nous avons jugé important avant de présenter les résultats obtenus à travers notre thématique principale qui se base sur l'évaluation de certains pesticides appliqués pour la protection de l'arboriculture fruitière au sein de la wilaya de Médéa sur un des invertébrés bioindicateurs de la qualité des sols *Messor barbarus* de signaler les constats observés sur le terrain concernant l'utilisation des produits phytosanitaires par les agriculteurs.

En effet certaines pratiques ont été notées lors des prospections notamment, la mauvaise utilisation de ses substances dangereuses, le non-respect des doses et des périodes d'application, le mode d'application, les normes de précaution lors de leur transports ou manipulation. Ces pratiques découlent souvent d'un manque de sensibilisation des utilisateurs par les institutions concernées.

En fait, l'emploi des pesticides doit être contrôlé afin d'optimiser l'utilisation des traitements en nombre et en quantité, pour une meilleure rentabilité des traitements et une moindre pollution de l'environnement et donc minimiser les risques toxicologiques qui peuvent être engendrés par l'abus d'utilisation de ces produits. Pour cela, il est indispensable d'instaurer une traçabilité et une transparence dans les acquisitions de pesticides et renforcer les contrôles de l'importation, de la commercialisation, le reconditionnement et de la gestion des produits phytosanitaires.

L'objectif scientifique de notre étude vise à mettre en évidence une évaluation 2cotoxicologique qui est basée sur l'utilisation des bio-essais sur des organismes terrestres considérés comme des indicateurs de la qualité du sol et bioindicateurs de sa pollution, en parallèle aux dosages directe des pesticides étudiés afin d'adapter et valider les seuils de toxicité et de définir des recommandations règle sur l'utilisation de ces produits.

Notre travail a été consacré à l'étude de l'impact des pesticides sur les populations de formicidae. Une étude ecotoxicologique en conditions contrôlées a permis de mettre en évidence l'effet d'insecticide et des herbicides ainsi qu'un engrais de fond sur les formicidae à des doses inférieurs ou égales de celles recommandées pour épandage sur les champs. Les effets des pesticides sont appréhendés via le suivi de mortalité durant la période de l'expérimentation de toxicité aigüe.

L'espèce ***Messor barbarus*** considérée comme la plus dominante sur le lieu d'échantillonnage a subi dans différentes conditions de tests de toxicité aigüe des **trois** contaminants chimiques : **le** Esfenvalerate, le fluazifop-P-butyl,NPK : 3*20 se révèle que **l'**Esfenvalerate est le contaminant le plus toxique que les autres.

Les résultats obtenus présentent une grande variabilité entre les effets des pesticides étudiés, ces résultats sont non seulement due à la matière active du produit testé, la durée d'exposition, les concentrations appliquées mais aussi les individus eux même donc le recours à l'analyse des résidus de pesticides dans les tissus des formicidae par la réalisation de coupes histologique est primordiale pour signaler les troubles de la partie cuticule des formicidae ,ainsi la réalisation de spectroscopie d'absorption atomique par exemple dans des futures études (SAA) constituaient l'un des enjeux majeurs.

À l'issue de notre étude, plusieurs questions ont surgi et qui peuvent ouvrier des perspectives intéressantes :

- Au regard de l'utilisation encore intensive de ces pesticides, rechercher quelle est la meilleure stratégie d'entretien du sol pour réduire au maximum l'impact des molécules sur l'environnement.

- Adopter des politiques agricoles alternatives, parmi lesquelles, on note la lutte intégrée et lutte biologique.

- Identifier quelles sont les mécanismes d'action de la toxicité cellulaire/ moléculaire de ces substances et les organes ciblés.

- Orienter la recherche vers la détoxification des xénobiotiques chez les formicidae

- Quel est l'impact des pesticides sur la croissance des formicidae ?

D'autres études seront donc nécessaires pour confirmer les hypothèses soulevées au cours de notre travail.

Références Bibliographiques

- **Agosti D., Majer JD., Alonso LE., Schultz TR. (2000).** Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity. Smithsonian Institution Press, Washington and London: 1-59 p.
- **Agosti D., Majer JD., Alonso LE., Schultz TR. (2000).** Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity. Smithsonian Institution Press, Washington and London: 1-59 p.
- **Aissaoui A. (2012).** Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région d'Oued Athmania (willaya de Mila) par les activités agricoles. Mémoire de Magister.p75.
- **Alonso L. (2000).** Ants as indicators of diversity. In: Agosti D., Majer J., Alonso L. & Schultz, T. Ants. Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity. Smithsonian Institution Press, Washington and London: 80-88p.
- **Alonso L. (2000)**. Ants as indicators of diversity. In: Agosti D., Majer J., Alonso L. & Schultz, T. Ants. Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity. Smithsonian Institution Press, Washington and London : 80-88p.
- **Andersen, A.N. 1992**. Regulation of "momentary" diversity by dominant species in exceptionally rich ant communities of the Australian seasonal tropics. American Naturalist 140: 401–420.
- **Annette V., Gimbert F., (2013).** Bioaccumulation, bioamplification des polluantsdans la faune terrestre, ADEME et Laboratoire Chrono-environnement, France.
- **Anonyme 1 (2006)-** Profil National pour l'evaluation des capacités de Gestion Rationnalle des Produits Chimique, p60 : 13.
- **Anonyme 1, (2004).** Index phytosanitaire. ACTA, Association de Coordination Technique Agricole. 4éméedition, 804p
- **Anonyme 2 (2011)- INRERIS** : Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques,Azoxystrobine-N° CAS 131860-33-8 (INERIS, 2011).
- **Anonyme 2, (2006)**.Profil national pour l'évaluation des capacités de gestion rationnelles des produits chimiques, 60 p.
- **Arnan, X., Molowny-Horas, R., Rodrigo, A., &Retana, J. 2012.** Uncoupling the effects of seed predation and seed dispersal by granivorousants on plant population dynamics. PLoS ONE 7: e42869.
- **Arnan, X., Retana, J., Rodrigo, A., & Cerdá, X. 2010.** Foraging behaviour of harvesting ants determines seed removal and dispersal. Insectes Sociaux 57: 421–430.
- **Arnan, X., Rodrigo, A., & Retana, J. 2011**. What are the consequences of ant-seed interactions on the abundance of two dry-fruited shrubs in aMediterranean scrub? Oecologia 167: 1027–1039.
- **Arnan, X., Rodrigo, A., Molowny-Horas, R., &Retana, J. 2010**. Ant-mediated expansion of an obligate seeder species during the first years after fire. Plant Biology 12: 842–852.
- **Atmo P.C. (2008)** : Observatoire régionale de l'environnement Poitou Charente. Les Pesticides quelques repères.
- **Azcárate, F.M., & Peco, B. 2007**. Harvester ants (Messor barbarus) as disturbance agents in Mediterranean grasslands. Journal ofVegetation Science 18 : 103–110.
- **Bachelier, G.,1963.** La vie animale dans le sol. Edition O.R.S.T.O.M. 278 p.

- **Barrios E., 2007**. Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological Economics 64 (64). PP 269-295.
- **Batsch D., 2001**. l‟‟impact des pesticides sur la santé humaine, thèse de Docteur d'Etat en Pharmacie, faculté de pharmacie, Université Henri Poincare - Nancy 1, P15.
- **Belfadel D. et Diaf M., 2014**. De la fourmi réelle à la fourmi artificielle. Faculté du Génie Electrique et de l'Informatique, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou,Revue Campus, N°2 : 22-33.
- **Belleman H., (1999)**. Guide des abeilles, bourdons, guêpes et fourmis d'Europe. Delachaux et Niestlé, 336 p.
- **Bellmann H., 1999**. Guide des abeilles, bourdons, guêpe et fourmis d'Europe ; Groupe des Aculéates : Hyménoptères porte-aiguillon. Ed. Chaux et niestlé, Paris : 84-97.
- **Benmouhoub Hachemaoui,K., Moumene,M.,Mouhoub Sayah,C., Nait Mouloud,M.,Djoudad Kadji,H.** Acute toxicity of two pesticides (dursban, mancozeb) and their combined mixture on the terrestrial isopod Armadillidium vulgare (Oniscidea, Isopoda). Studia Universitatis "Vasile Goldiș", Seria Științele Vieţii (Life Sciences Series), Vasile Goldis University Press, 2020, 29 (4), pp.184-191. ffhal-02934373ff.
- **Bernard F., 1951**. Super famille des FormicoideaAshmead 1905 : 997-1119 cité par Grasse P.P., 1951 – Traité de Zoologie, insectes supérieurs et Hémiptéroides. Ed. Masson Cie, Paris, T.X, Fasc.2 : 976-1948.
- **Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven,L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D., &Brun, J.J. 2013**. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services.European Journal of Soil Science 64: 161–182.
- **Boland J., Koomen I., van Lidth de Jeude J., Oudejans J., 2004.** Les pesticides : composition, utilisation et risques. Wageningen : Agrodok ,15- 89.
- **Bolton B. (1994)**. Identification guide to the antgenera of the World. Harvard UniversityPress,Cambridge, Massachusetts. 222 p.
- **Bolton B., 2014**. An online catalog of the ants of the world. Available from http://antcat.org. Latreille P. A. 1989. Essai sur l'histoire des fourmis de la France. Slatkine (Lager et al., 2015).
- **Bolton, B. 2020**. Bolton's world catalog. (Accessed 25 September 2020).
- **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.
- **Bouziane M. (2007)** : L'usage immodéré de pesticides : de graves conséquences sanitaires. Le guide de la médecine et la santé en Algérie. Santé magrebe.com.
- **Bronstein, J.L., Alarcón, R., & Geber, M. 2006**. The evolution of plant-insect mutualisms. New Phytologist 172: 412–428.
- **Bulot, A., Dutoit, T., Renucci, M., & Provost, E. 2014**. A new transplantation protocol for harvester ant queens Messor barbarus (Hymenoptera: Formicidae) to improve the restoration of species-rich plant communities. Myrmecological News 20: 43–52.
- **Cagniant H. (1973)**. Les peuplements des fourmis des forêts algériennes. Ecologie biocénotique, essai biologique. Thèse Doctorat. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 464 p.

- **Cagniant H., 1972**. Les peuplements des fourmis des forêts algériennes. Ecologie biocénotique, essai biologique. Thèse Doctorat. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 464 p.
- **Cagniant H., 2011**. Résumé. Communication personnelle.
- **Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P. et Coquet Y. (2005).** Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales. Edition France Agricole, Paris, 637 p.
- **Caraglio Y., (2003).** Les fourmis dans les forêts tropicales. Revue Forestière Française, 55(spec.) : 188-194p.
- **Casimiro, M.S., Sansevero, J.B.B., & Queiroz, J.M. 2019**. What can ants tell us about ecological restoration? A global meta-analysis. Ecological Indicators 102: 593–598.
- **Cerda, X., & Retana, J. 1994**. Food exploitation patterns of two sympatric seed-harvesting ants Messor bouvieri (Bond.) and Messor capitatus (Latr.) (Hym., Formicidae) from Spain. Journal of Applied Entomology 117: 268–277.
- **Cerdan P (1989)** Etude de la biologie, de l'Øcologie et du comportement des fourmis moissonneuses du genre Messor 393 (Hymenoptera, Formicidae) en Crau. PhD Thesis, University of Aix-Marseille I .
- **Chantal Gagné** L'utilisation des pesticides en milieu agricole 2007.
- **Cissé I., Tandia A. A., Fall S. T. et Diop Y., 2003**. Usage incontrôlé des pesticides en agriculture périurbaine : cas de la zone de Niayes au Sénégal. (Volume 1), pp. 6-181.
- **Coineau., 1974**. Introduction à l'étude des microarthropodes du sol et de ses annexes. Document pour l'enseignement pratique de l'Ecologie. Paris. 117 p.
- **COURNAULT L., 2013**. Les fourmis : une biodiversité méconnue. Rev.sci.bourgogne-Nature18- : 233-242.
- **Courrier de l'environnement de l'INRA n°49, juin 2003.**
- **COUTEUX ; C. SALAU** ; « index phytosanitaire acta » ; 45^{e} édition.
- **David Leroy, July 2019** Vulnérabilités et construction sociale des risques liés à l'eau dans les páramos colombiens et vénézuéliens.
- **Dean, W.R.J., & Yeaton, R.I. 1993**. The effects of harvester ant Messor capensis nest-mounds on the physical and chemical properties of soils in the southern Karoo, South Africa. Journal of Arid Environments 25: 249–260.
- **Del Toro, I., Ribbons, R.R., & Pelini, S. 2012**. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and diservices (Hymenoptera: Formicidae). Myrmecological News 17: 133–146.
- **De Silva Asoka P, Cornelis A**, Toxicity of chlorpyrifos, carbofuran, mancozebe and their formulations to the tropical earthworm Perionyx excavates. Appl Soil Ecol.44, 56-60,2010.
- **Dieng M.M., Ndiaye A.B., Ba Ch.T., Taylor B. (2016)**. Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) de l'enclos d'acclimatation de Katané de la réserve de faune du Ferlo nord (Sénégal). Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(4) ; DOI : http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i4.15 http://ajol.info/index.php/ijbcs.
- **Dieng M.M., Ndiaye A.B., Ba Ch.T., Taylor B. (2016).** Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) de l'enclos d'acclimatation de Katané de la réserve de faune du Ferlo

nord (Sénégal). Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(4) ; DOI : http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i4.15 http://ajol.info/index.php/ijbcs .

- **Djellouli M., Moussaoui A., Benmehdi H., Ziane L., Belabbes A., Badraoui M et Hamidi N. (2013).** Ethnopharmacologie studyand phytochemical screening of three plants. (Asteraceae family) from the region of south west Algeria.Asian journal of natural &appliedsciences,2 :59-65.
- **Douafer L, (2010)** - Evaluation de la pollution des sols de quelques biotopes de l'Est algérien par l'utilisation d'un bioindicateur, Helixaspersa(Mollusca, Gasteropoda): inventaire, activité enzymatique et composition physico-chimique du sol.
- **Dyer LA. 2002**. A quantification of predation rates, indirect positive effects on plants and foraging variation of the giant tropical ant, Paraponeraclavata. Journal of Insect Science, 2(18): 1-7.
- **FAO (2005, in UIPP, 2010).**
- **Fenske R.A, Kedan G, Lu C, Fisker-Andersen J.A, Curl C. (2002)**. Assessment oforganophosphorus pesticide exposures in the diets of preschool children in washington state. J.Exposure Anlysis Environ. Epidemiol ,12(2002)21-28.
- **Folgarait, P.J. 1998**. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review Biodiversity and Conservation 7: 1221–1244.
- **Fournier J. 1988**, Chimie des pesticides, Cultures et Techniques, Nantes.
- **Fredericton N.B., Kenfington P.E., Halifa N., Jhon's., 2006.** Série de manuels de formation sur l'utilisation des pesticides au Canada atlantique, Base d'Applicateur, l 35p.
- **Fryssinnel., 2007.** Etude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agro foresterie 2006-2008. Recherche et développement de la France, 46 p.
- **Gatignol C. et Etienne J.C. (2010).** Pesticides et santé. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 262 p. mémoire de louchahi.
- **Gasmi S, Rouabhi R, Kebieche M, Biuskine S, Salmi A, Toualbia N, Taib C, Bouteraa Z, Chnikher H, Henine S, Djabri B (2012)**-Effet de la deltaméthrine sur l'état de l'esprit mitochondrial du striatum et de l'hioppcampe et rôle protecteur de la quercétine chez les rats, PUBMED.gov
- **Giladi, I. 2006**. Choosing benefits or partners: Areview of the evidence for the evolution of myrmecochory. Oikos 112: 481–492.
- **Godet J P(2010)-** Thèse de doctorat, Intérêt des isopodes terrestres dans l'évaluation de la qualité des sols : recherche de paramètre indicateur de pollution par des éléments traces métalliques et contribution à la mise au point d'un outil ecotoxicologique sur le terrain.
- **Grasso D. et Castracani C., 2013**. Les organismes du sol. Atlas européen de la biodiversité des sols. Ed. Union européenne, Luxembourg : 116-117.
- **Hakeem K R., Mahmood I., Imadi S.R., Shazadi K., Gul A. (2016):** Plant, soil and Microbes: Implication in crop science Effects of pesticides on environment, volume1., Ed. spriger international publishing, switzerland.
- **Hedde, M., van Oort, F., Renouf, E., Thénard, J., Lamy, I., 2013.** Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils. Appl. Soil Ecol. 66, 29–39.

- **Hölldobler B. & Wilson EO. (1990).** The ants. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- **Hulle M., Turpeau E., Leclant F., Rahn M. J. (1998).** Les Pucerons Des Arbres Fruitiers Cycles biologiques et activités de vol, Inra Editions, 80p.
- **Inserm (2013)-** (Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale) Expertise collective. Pesticides, effets sur la santé, Disponible sur http://editions.inserm.fr/zh5/109743.
- **Ioriatti c, Pasqualini E, Toniolli A**, Effects of the fungicides mancozebe and dithianon on mortality and reproduction of the predatory mite Amblyseius Anderson.Exp Appl Acarol.15 (2) , l09-116,2015.
- **Isenring R., 2010**. Les pesticides et pertes de biodiversité, pesticides action network, Europe, BruxeJJes, pp2-3-4.
- **ISENRING Richard** : Les pesticides et la perte de biodiversité, Comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces, Op.cit, p11, 12.
- **ISENRING Richard** : Les pesticides et la perte de biodiversité, Comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces, Pesticide Action Network Europe, Belgium, 2010, p3, 4.
- **J. E. McWilliams**, American Pests: The Losing War on Insects from Colonial Times to DDT, Columbia University Press, 2008.
- **J. MY, UIPP, PHYTOMA, Août-sept. 95 (in Severin, 2002).**
- **JAKUBOSKI Samantha**: The dangers of pesticides. Green science (Musings of a Young conservastionist), 2011.
- **Jeroen Boland ; Irene Koomen ; Joep van Lidth de Jeude ; Jan Oudejans**. Les pesticides composition, utilisation et risques 2004.13p.
- **Jouquet, P., Blanchart, E., & Capowiez, Y. 2014**.Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystem functioning. AppliedSoil Ecology 73: 34–40.
- **KEGLY Susan E:** Distrupting the balance: Ecological Impacts of pesticides In California. Californians for pesticides reform, pesticides action Network (Group), California, 1999, p46.
- **Kesraoui. 2008.** Degradation des pesticides chlortoluron, carbofurane et bentazone en milieux aqueux par les procédés d'oxydation avancée. thése de doctorat.
- **KHEDDAM-BENADJAL NADIA** Enquête sur la gestion des pesticides en Algérie et recherche d'une méthode de lutte alternative contre melodiogynie incognita (nematoda) : melodiogynie incognita 2012.
- **Kristiansen, S.M., & Amelung, W. 2001**. Abandoned anthills of Formica polyctena and soil heterogeneity in a temperate deciduous forest: morphology and organic matter composition. European Journal of Soil Science 52: 355–363.
- **L'Union des producteurs agricoles LES RÉSIDUS DE PESTICIDES DANS LES ALIMENTS 2020.**
- **La biodiversité des sols, publié dans Sol, Les sols vivants - Le lundi 24 janvier 2022** VINCENT Quentin AUCLERC Apolline LEYVAL Corinne.
- **La biodiversité des sols, publié dans Sol, Les sols vivants - Le lundi 24 janvier 2022** VINCENT Quentin AUCLERC Apolline LEYVAL Corinne.

- **La comité sécurité alimentaire d'Aprifel. (2004).** Pesticides, risques et sécurité alimentaire. tpi s.a.France. 7-107.
- **Lager bryan pitaval lucas defretin alexandre** La société des fourmis 17/mars/2015 P10.
- **Lager.B., Pitaval.L., Defretin.A., (2015).** TPE : La société des fourmis. http://fourmis/TPE%20_%20La%20société%20des%20fourmis.html.
- **Lager.B., Pitaval.L., Defretin.A., 2015**. TPE : La société des fourmis. Latreille P. A., 1809. Generacrustaceorum et insectorumsecundumordinemnaturalem in familias disposita, iconibusexemplisqueplurimisexplicata. Tomusquartus et ultimus. Parisiis, Argentorati. (König).
- **LAGER.B., PITAVAL.L., DEFRETIN.A., 2015**. TPE : La société des fourmis. http ://fourmis/TPE%20_%20La%20société%20des%20fourmis.html .
- **Lane, D.R., & BassiriRad, H. 2005.** Diminishing effects of ant mounds on soil heterogeneity across a chronosequence of prairie restoration sites. Pedobiologia 49: 359–366.
- **Lavelle, P. et Spain, A. V., Eds. (2001).** Soil Ecology.
- **Lavelle, P. et Spain, A. V., Eds. (2001).** Soil Ecology.
- **Lavelle, P., & Spain, A. V. 2001**. Soil Ecology.Kluwer Academics Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- **Lebas C., Galkowski C., Blatrix R et Wegnez P., 2016**. Fourmis d'Europe occidentale.Delachaux et Niestlé.
- **Lengyel, S., Gove, A.D., Latimer, A.M., Majer, J.D., & Dunn, R.R. 2009.** Ants sow the seeds of global diversification in flowering plants. PLoS ONE 4: e5480.
- **Levey, D.J., & Byrne, M.M. 1993.** Complex antplant interactions: rain forest ants as secondary dispersers and post-dispersal seed predators. Ecology 74: 1802–1812. Retana, J., Picó, F.X., & Rodrigo, A. 2004. Dual role of harvesting ants as seed predators.
- **Lobry de Bruyn, L.A. 1999**. Ants as bioindicators of soil function in rural environments.Agriculture, Ecosystems and Environment 74: 425–441.
- **Lorenzo et al(2003),**
- **Maîtrise des produits phytosanitaires (pesticides)** : traitement des denrées stockées (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire) 2013.
- **Majer J.D. (1983)**. Ant: Bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and conservation. Environmental Management 7 : 375-383p.
- **Majer J.D. (1983).** Ant: Bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and conservation. Environmental Management 7 : 375-383p.
- **Manfred et Nicole mole, 2005.** Précis des risques alimentaires, édition tee and Doc, paris. p :36, 38 ,46 ,52.
- **MARGOUM**. Amélioration de la capacité de biodégradation de deux pesticides (methyl parathion, méthomyl) par des bactéries irradiées. En vue de l'obtention du Diplôme National d'Ingénieur en Sciences Appliquées et en Technologie. Université de Carthage. 70p.
- **Marinovich M., Ghilardi F., Galli C.L. (1996)**. Effect of pesticide mixtures on in nervous cells: comparison with single pesticides. Toxicology. vol108: 201-206.
- **Mileson BE, Chambers JE, Chen WL, Dettbarn W, Ehrich M, Eldefrawi AT, aylor DW, Hamernik K, Hodgson E, Karczmar AG, Padilla S, Pope CN,**

Richardson RJ, Saunders DR, Sheets LP, Sultatos LG, WallaceKB, Common mechanism of toxicity: A case study of organophosphorus pesticides. Toxicol Sci. 41 ,8-20, 1998.

- **Molt NJ,Tovey CA, HuDL, DavidL.** Fire ants self-assemble into waterproof rafts to survive floods. Proceedings of the National Academy of Sciences.2011;19:7669-7673.
- **Morgado R, Pedro-Gomesa AD, Nuno Ferreira GC, Diogo-Caradosoa N, Miguel Santosb JG, Mamadeu-Soaresa, M.V.,Loureiro**, S. Toxicity interaction between chlorpyrifos, mancozeb and soil moisture to the terrestrial isopod Porcellionides pruinosus. Chemosphere. 144 , 1845-1853, 2008
- **Moussaoui O., 2010**. Biodégradation des pesticides : étude comparative des activités bactériennes et fongiques. Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique (ENP), Alger, 91.
- **Organisation des Nations Unies de l'alimentation et de l'agriculture (FAO)** : la situation mondiale de l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2008, p81.
- **Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J.-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., M, D.H., 2016.** Global soil biodiversity atlas, Global soil biodiversity atlas. European Commission.
- **Passera L. et Aron S., 2005.** Les fourmis : comportement, organisation sociale et évolution. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa. 480 p.
- **Passera L., 2017.**Fourmi : les secrets de la fourmilière, 71 p.
- **RAZAFINDRAKUTO S D, 2013**- Etude des interactions plante- vers de terre (Dichogaster Saliens dans la culture de Riz et de l'éleusine. Mémoire Magister Univ privée à vocation professionnalisant 87p.
- **Retana, J., Picó, F.X., & Rodrigo, A. 2004.** Dual role of harvesting ants as seed predators.
- **Regnault-Roger C, Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement**. TEC & DOC, 1013, 2005.
- **Rice P, Drewes C, Klubertanz T, Bradbury S, Coats J,** Acute toxicity and behavioral effects of Chlorpyrifos, permethrin,phenol, strychnine, and 2,4–dinitrophenol to 30-days-old Japanese Medaka (Oryziaslatipes). Setac.Journals. 16 ,696-704, 1997.
- **Sanchez-Hernandez Juan C, Narvaez C, Sabat P, Martínez Mocillo S,Integrated** biomarker analysis of chlorpyrifos metabolism and toxicity in the earthwormAporrectodea caliginosa.Sci Total Environ. 490 ,445- 455, 2014
- **Sizmur, T., Palumbo-Roe, B., & Hodson, M.E. 2011**.Impact of earthworms on trace element solubility in contaminated mine soils amendedwith green waste compost. Environmental Pollution 159: 1852–1860.
- **Tobin J. E., (1994).** Ants as primary consumers: diet and abundance in the Formicidae. Nourishment and evolution in insect societies. West view. 279-307p.
- **Toukali,M.(2017).** Importance des fourmis et des psylles dans un agroécosystème de poirier à sidi Embarek (Bordj Bou Arraridje). Univ de m'sila.8p.
- **Toumi H (2013)-** Ecotoxicité de la deltaméthrine et du malathion sur différentes souches de Daphnia magna (Crustacea, Cladocera): apport de la protéomique dans

la recherche de nouvelles cibles cellulaires, thèse Doctrant en Ecotoxicologie, Biodiversité, Ecosystèmes, université de Lorraine.france, 124-130. (Sayeed et al., 2003).

- **UIPP (2011).** L'utilité des produits phytopharmaceutiques. Union des Industries de laProtection des Plantes 6 p.
- Utilisation et risques des pesticides dans les périmètres de mise en valeur de la wilaya d'Adrar : cas de la région d'Aougrout **M. RAHATLFOUL Mohammed et M. CHERIF Idriss 2019 p 5.**
- **Vandewalle, M., de Bello, F., Berg, M.P., Bolger, T., Dolédec, S., Dubs, F., Feld, C.K., Harrington, R., Harrison, P.A., Lavorel, S., da Silva, P.M.,Moretti, M., Niemelä, J., Santos, P., Sattler, T., Sousa, J.P., Sykes, M.T., Vanbergen, A.J., &Woodcock, B.A. 2010.** Functional traits as indicators of biodiversity response to land usechanges across ecosystems and organisms. Biodiversity and Conservation 19: 2921–2947.
- **Vayssieres F, Sinzogan A, Korie S, Adandonon A, Worou S., 2011**. Field observational studies on circadian activity pattern of Oecophyllalonginoda(Latreille) (Hymenoptera: Formicidae) in relation to abiotic factors and mango cultivars. Int. J. Biol. Chem. Sci., 5(2): 790-802.
- **Venkateswara Rao, J, Kavitha, P,**Toxicity of azodrin on the morphology and acetylcholine esterase activity of the earthworm Eisenia foetida.Environ. Res. 96 ,323- 327, 2004.
- **Vermeulen LA, Reinecke AJ, Reinecke SA**, Evaluation of the fungicide manganesezinc ethylene bis(dithicarbamate) (mancozebe) for sublethal and acute toxicity of twenty-four insecticides to earthworm, Eisenia foetida, Ecotox.Environ. Saf. 48 ,183-189, 2001.
- **VINCENT Charles et al** : La lutte physique en phytoprotection. Institut national de la recherche agronomique (Paris), France, 2000, p10.
- **Wade C. (2003)** : L'utilisation des pesticides dans l'agriculture périurbaine et son impact sur l'environnement. Thèse de Doctorat. UniversitéCheikh Anta Diop de Dakar.
- **Yemeda CFL, Mony R, Tchatat M, Dibong S., 2013.** Contribution des fourmis à la lutte biologique contre les Loranthacea. Int. J. Biol. Chem. Sci., 7(3): 924-937.
- **Yesguer S, Evaluation** de l'écotoxicité de certains pesticides sur les sols par l'utilisation d'un biotest : cas des lombricidés.Thèse de doctorat : Université de Bejaia. pp 31-40, 2015 .
- **Zaidi L, Safsaf A**, Réponse éco physiologique des Lumbricidae à l'effet combiné de certains pesticides utilisés dans la Vallée de la Soummam, Master II en Bio ressources Animales et Biologie Intégrative. 2017.
- **Zelikova, T.J., Sanders, N.J., & Dunn, R.R. 2011.** The mixed effects of experimental ant removal on seedling distribution, belowground invertebrates, and soil nutrients. Ecosphere 2: 1–14.