



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

THEME

**Evaluation du risque de transfert des pesticides
vers l'eau du sous-sol dans les sols cultivés**

Présenté par :

M^r HAMMADOU Azouaou

M^{me} KABI Nawal

Membres du jury :

Présidente : M^{me} LARDJANE N.

Professeur à l'UMMTO

Promotrice : M^{me} ALI AHMED S.

M.C.B à l'UMMTO

Examinatrice : M^{me} BACHI K.

M.C.B à l'UMMTO

Examinatrice : M^{me} CHIBANE G.

M.A.A à l'UMMTO

Soutenu le 30/06/2024

Remerciements

En introduction à ce manuscrit, nous tenons à exprimer notre gratitude la plus sincère envers toutes les personnes qui nous ont soutenus et aidés tout au long de ces années, en contribuant à la création et à la réussite de notre mémoire.

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers notre promotrice, **Mme ALI AHMED S.**, Maître de conférences au département d'Ecologie et environnement à l'UMMTO, qui a su nous accompagner et nous faire avancer tout au long de cette tâche. Il est impossible de trouver la parole pour exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance pour votre soutien inconditionnel.

Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury, à la présidente du jury **Mme LARDJANE N.**, professeur au département de Biochimie et microbiologie à l'UMMTO, ainsi qu'aux examinatrices **Mme BACHI K.**, maître de conférences et **Mme CHIBANE G.**, maître assistante au département d'Ecologie et environnement à l'UMMTO, pour leur intérêt porté à notre recherche en acceptant d'étudier ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent également à tous les chercheurs du laboratoire de l'INRF (Institut National de la Recherche Forestière) de Bainem pour leur contribution à la réalisation de notre mémoire.

Nous remercions aussi **Mme SADOUDI-ALI AHMED D.**, directrice du laboratoire PSEMRVC pour nous y avoir accueillis afin de réaliser la partie pratique de ce mémoire.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers les ingénieurs des laboratoires "Laboratoire PSEMRVC et laboratoire commun" de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'UMMTO pour leur assistance dans la réalisation de la partie pratique de ce mémoire.

Les agriculteurs sont également remerciés de nous avoir donné l'opportunité d'expérimenter dans leurs vergers et de nous avoir fourni les informations nécessaires.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude particulière envers l'équipe pédagogique du département d'Ecologie et environnement de l'UMMTO ainsi que les professionnels responsables de notre formation, en particulier **Mme CHIBANE G.**, chef de département, pour avoir géré nos études.

Et tous les enseignants et enseignantes qui ont pris part à notre formation supérieure pendant de nombreuses années.

De plus, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Enfin, nous exprimons notre gratitude envers nos amis et collègues de master 2 pour l'ambiance amicale et les échanges d'idées bénéfiques qui règnent constamment dans le groupe.

Dédicaces

Je dédie ce travail

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants. Ce mémoire est le fruit de vos sacrifices et de votre foi en moi.

À mes frères, Jugurtha, Juba et Aziz. Pour votre soutien, votre camaraderie et vos encouragements constants. Votre présence et vos conseils ont été une source inestimable de force et de motivation tout au long de ce parcours. Ce mémoire est aussi le vôtre

À ma famille, pour votre amour, votre compréhension et votre soutien. Vous êtes ma source d'inspiration et de motivation.

À mon binôme, pour ton engagement, ta collaboration et ton soutien sans faille tout au long de ce projet. Ta détermination et ton esprit d'équipe ont rendu ce voyage académique beaucoup plus enrichissant et agréable. Merci pour tout.

À mes amis, pour les moments de partage, de rire et de soutien. Votre amitié a été une source de force et de motivation tout au long de ce parcours.

Je souhaite que cette dédicace témoigne de ma gratitude envers vous tous, qui avez été présents avec moi. Je suis extrêmement reconnaissant de votre influence dans ma vie.

HAMMADOU AZOUAOU

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes parents exceptionnels, mes premiers enseignants et mes guides constants. Votre amour inconditionnel et votre soutien indéfectible ont été le fondement de chaque succès que j'ai pu atteindre. Vos sacrifices silencieux et votre foi inébranlable en mes capacités m'ont donné la force de poursuivre mes rêves.

À mes chers frères et sœurs, Chanez, Latamene, Aomar et Hanane, pour leur encouragement constant et leur camaraderie. Vous avez été une source de joie et de motivation tout au long de ce voyage.

À toute ma famille, y compris mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines, pour leur présence rassurante et leur soutien. Chaque moment partagé avec vous m'a apporté un réconfort inestimable.

À la mémoire de mes grands-parents, particulièrement mes grands-mères et père décédés, dont les souvenirs et les enseignements continuent de m'inspirer. Vous êtes à jamais dans mon cœur et vos valeurs m'accompagnent chaque jour.

À mes amis, pour leur amitié sincère, leur compréhension et leurs encouragements. Vous avez rendu ce parcours moins solitaire et bien plus agréable.

À mon binôme, pour son partenariat indéfectible, son soutien constant et son dévouement. Travailler à tes côtés a été un honneur et un privilège. Ta présence a rendu chaque défi plus surmontable et chaque succès plus joyeux.

J'aimerais que ces dédicaces expriment ma reconnaissance envers vous tous qui avez été là avec moi. Je suis profondément reconnaissante pour votre impact sur ma vie.

Kabi Nawal

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	----------

Chapitre 1 Synthèse bibliographique

1.Généralités sur les pesticides	4
1.1.Composition	4
1.2.Classification des pesticides	5
2.Dispersion et devenir des pesticides dans l'environnement	8
2.1.Pollution du sol	8
2.2.Pollution de l'air	9
2.3.Pollution de l'eau	9
3.Mécanismes de transfert des pesticides dans l'environnement	9
3.1.Absorption par la plante	10
3.2.Dégradation	10
3.3.Mobilité	11
4.Modèles d'évaluation du risque de contamination de la nappe phréatique	12
4.1. Modèle Pesticide Leaching Model (PLM)	12
4.2. Modèle Pesticide Root Zone Model (PRZM)	12
4.3. Modèle GeoPEARL	13
4.4. Modèle Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems(GLEAMS) ...	13
4.5. Modèle Pesticide Fate in the Environment (PE5)	13
4.6. Modèle de Gustafson	13

Chapitre 2 Matériel et méthodes

1. Situation géographique des régions d'études	14
1.1.Taboukert	14
1.2.Chamlal	14
1.3.Chaoufa	15
2.Méthodologie de travail	16
2.1.Enquête de terrain	16
2.2.Caractérisation des sols	16

2.2.1.Echantillonnage	16
2.2.2.Préparation du sol	16
2.2.3.Analyses physico-chimiques	17
2.3.Méthode mathématique	20
2.3.1.Calcul de l'indice de GUS	20
2.3.2. Interprétation.....	21

Chapitre 3
Résultats et discussion

1.Résultats	22
1.1.Résultats de l'enquête	22
1.2.Caractérisation des sols	24
1.2.1.Potentiel d'hydrogène	24
1.2.2.Capacité au champ	24
1.2.3.Granulométrie	25
1.2.4.Matière organique	25
1.2.5.Azote total	26
1.2.6.Rapport C/N	26
1.3.Evaluation du risque de pollution de la nappe phréatique par les pesticides	27
2.Discussion	29
Conclusion générale	34
Références bibliographies	36
Annexes	

Liste des abréviations

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).

COT: Carbone organique total

MO: Matière organique

MA : Matière active

BHC : Benzène Hexachloré

HCH : Hexachlorocyclohexane

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane

2,4-D : Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique

TCDD : 2,3,7,8-Tétrachlorodibenzo-p-dioxine

DCPA : Acide diméthyl tétrachlorotéréphtalique

2,4,5-T : Acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique

2,4-DB : Acide 4-(2,4-dichlorophénoxy)butanoïque

MCPA : Acide 2-méthyl-4-chlorophénoxyacétique

MCPP : Acide 2-(4-chlorophénoxy)propanoïque

DNOC : Dinitro-ortho-crésol

Liste des figures

Figure 1 : Classification des pesticides en fonction des familles chimiques principales	10
Figure 2 : Localisation du village de Taboukert	14
Figure 3 : Localisation de la commune de Chamlal	15
Figure 4 : Localisation du village de Chaoufa	15
Figure 5 : Etapes de la préparation du sol	17
Figure 6 : Etapes de mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	18
Figure 7 : Etapes de détermination du pouvoir de rétention de l'eau	19
Figure 8 : Résultats de Ph des sols des trois stations étudiées	24
Figure 9 : Valeurs de la rétention en eau des sols des sites étudiés	24
Figure 10 : Résultats de l'analyse granulométrique des sols des sites étudiés.....	25
Figure 11 : Résultats du rapport C/N des sols étudiés.....	27

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des pesticides en fonction des familles chimiques principales	6
Tableau 2 : Classification des pesticides en fonction des organismes ciblés.....	7
Tableau 3 : Résultats de l'enquête	23
Tableau 4 : Analyse du carbone organique total des sols étudiés	26
Tableau 5 : Les teneurs en Azote(N) des sols étudiés.....	26
Tableau 6 : Indice de transfert des pesticides vers l'eau de sous-sol	28

Introduction

Introduction générale :

La population mondiale est en constante augmentation depuis une cinquantaine d'années, ce qui pose un problème majeur pour nourrir toute l'humanité. Les maladies, les insectes et les plantes nuisibles attaquent les cultures, les forêts et les plantes d'ornement, etc. C'est pourquoi, à partir des années 1950, les pesticides sont utilisés comme un moyen de lutte qui a contribué à améliorer la santé publique en éradiquant ou en limitant la propagation des maladies parasitaires très meurtrières et en assurant une meilleure production alimentaire (Gagaoua et al., 2012). La consommation mondiale de pesticides est n'a cessé d'augmenter, passant de 0,49 kg/ha en 1961 à 2 kg/ha en 2004 (FAO, 2007).

Les pesticides, également connus sous le nom de produits phytosanitaires, sont des produits chimiques qui jouent un rôle essentiel et dans la préservation, la régularité et la qualité de la production agricole (Matthews, 2006). Leurs compositions et leurs structures sont extrêmement diverses, ce qui explique leur grande diversité d'utilisations, de dangers, ainsi que les difficultés rencontrées pour décrire et prédire leur avenir dans les sols (Calvet et al., 2005).

Dans l'agriculture, l'utilisation des pesticides sera impactée par divers éléments tels que la qualité de l'ingrédient actif utilisé et de son emplacement d'application, sa répartition dans les différents compartiments environnementaux, son taux de dégradation et sa toxicité pour les espèces présentes dans ces compartiments (Van der Werf, 1997).

Après avoir été appliqués au sol, les pesticides peuvent être soumis à différents processus tels que l'adsorption, la volatilisation, la mobilité et la dégradation (biotique et abiotique). Ils ont la possibilité d'atteindre les eaux souterraines en infiltrant les sols.

Les eaux souterraines constituent l'essentiel des réserves d'eau potable de la planète et représentent un enjeu économique et stratégique majeur (Vieville, 1988).

Face au grand nombre de molécules susceptibles d'être utilisées en agriculture, une approche simple, permettant de les passer en revue rapidement et de les classer en terme de risque potentiel de la contamination des eaux souterraines, présente un certain intérêt (Rao et al., 1985). C'est ainsi qu'ont été établis des modèles mathématiques, basés sur la fraction du pesticide sortant de la ZNS (c'est-à-dire, la source potentielle de contamination des eaux souterraines) (Aller et al., 1987).

Des travaux ont eu pour objet d'étudier le risque de transfert des pesticides vers les nappes phréatiques dans la wilaya de tizi ouzou, une enquête a été menée en 2023 par Ramdani et Mimoun

Introduction générale :

dans les communes de Tizi-Rached, Draa-EL-Mizan, Bouzeguène et Ouadhia, et par Ferhat et Merbah au niveau d'Oued Falli, Draa El Mizan et Draa Ben Khedda.

C'est dans ce contexte que se situe notre étude qui vise à évaluer le risque de la contamination des nappes phréatiques par les pesticides présents dans le sol de certaines cultures de la wilaya de Tizi-Ouzou dans trois régions différentes (Chamlal, Taboukert et Chaoufa). Une enquête sur le terrain sera réalisée afin de collecter des informations sur l'usage des pesticides et leurs caractéristiques physico-chimiques. Par la suite, une analyse des sols sera effectuée, puisque la manière dont les pesticides se déplacent dépend à la fois de leurs caractéristiques et ceux du sol.

Le mémoire est structuré en trois chapitres, dont le premier est consacré à une revue bibliographique sur les pesticides et les différentes façons de leurs transmissions du sol vers le sous-sol. Le deuxième consiste à une description des sites étudiés, du matériel et des techniques employées dans cette recherche. La présentation des résultats obtenus et leur discussion seront abordées dans le troisième chapitre. Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

1. Généralités sur les pesticides

Le terme pesticide prend son origine du mot anglais "pest" (animal, insecte ou plante nuisible), qui était issue du latin Pestis (peste), qui désignait le fléau en général, avec le suffixe "cide" qui signifie "tuer" (El Azzouzi, 2013).

D'après la définition de la FAO (2003), les pesticides désignent toute substance ou mélange de substances utilisée(s) pour repousser, détruire ou lutter contre les ravageurs (y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales) et les espèces indésirables de plantes ou des animaux qui causent des dommages ou se montrent autrement nuisibles lors de la production, de la transformation, du stockage, du transport ou de la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, ou des aliments pour animaux, ou qui peut être administrée aux animaux pour lutter contre les insectes, les arachnides et autres parasites endo ou ectoparasites.

1.1. Composition

Selon Bensalem (2015), un pesticide est constitué d'une ou plusieurs substances.

1.1.1. Matière active (MA)

La MA joue un rôle crucial dans un produit, car elle est le composé chimique toxique qui combat et tue le ravageur visé. Un nom chimique est utilisé pour désigner la MA du pesticide.

Il est crucial d'acquérir la capacité de reconnaître les noms chimiques sur l'étiquette. (La composition d'un pesticide ne se résume pas uniquement aux substances actives, elle inclut également : le solvant, le surfactant, l'adjuvant, le vecteur, colorés et marqueurs olfactifs.)

1.1.2. Solvant

Le solvant est un composé chimique employé afin de dissoudre la ou les MA (s) afin de les rendre liquides.

1.1.3. Surfactant

Le surfactant est une abréviation d'agent actif de surface, également connu sous les noms d'humecteur, d'épandeur et de collant, afin de diminuer la tension de surface, d'améliorer

l'émulsion, la diffusion et les propriétés humectantes des formulations liquides, le pesticide peut se fixer aux parasites ou s'étendre de manière plus homogène sur les feuilles et les surfaces de la plante.

1.1.4. Adjuvant

L'adjuvant est un produit chimique ajouté à un pesticide pour accroître son efficacité, il n'est actif qu'en présence des matières actives des pesticides, comme, le piperonyl butoxide, qui est ajouté à des insecticides pyréthrinoïdes de synthèse pour stimuler leur activité.

1.1.5. Vecteur

Le vecteur consiste en un matériau inerte qui permet de diluer la matière active du pesticide afin de faciliter son application.

1.1.6. Coloris et marqueurs olfactifs

La présence de couleurs et de marqueurs olfactifs confère au pesticide une odeur ou un goût désagréable afin de diminuer les risques d'ingestion accidentelle. Les semences sont également enrobées de colorants pour distinguer les semences traitées et non traitées.

1.2. Classification des pesticides

Différentes catégories peuvent être attribuées aux pesticides en fonction de de leur composition chimique et de leur cible spécifique.

1.2.1. Classification des pesticides en fonction de la composition chimique

Les pesticides sont répartis selon la composition chimique des substances actives. La catégorisation chimique des pesticides occupe une place prépondérante dans le domaine des pesticides et de l'écologie, comme indiqué ci-dessous (tableau 1).

Tableau 1 : Classification des pesticides en fonction des familles chimiques principales
(Rodriguez-Eugenio et al., 2018)

Famille	Exemples
Organochlorés	DDT, méthoxychlore, chlordane, dicofol, BHC/HCH, Aldrin, Endosulfan, Heptachlor
Organophosphorés	Parathion, Malathion, Monocrotophos, Chlorpyrifos, Quinalphos, Phorate, Diazinon, Fénitrothion
Carbamates	Aldicarbe, Oxamyl, Carbaryl, Carbofuran, Méthomyl, propoxur, pirimicarbe
Pyréthroides	Alléthrine, deltaméthrine, resméthrine, cyperméthrine, perméthrine, fenvalérate, pytèthre
Néonicotinoïdes	Acétamipride, Imidaclopride, Nitenpyram, Thiaméthoxame
Composés organostanniques	Acétate de triphénylétain, chlorure de trivénylétain, hydroxyde de tricyclohexylétain, azocyclotine
Composés organomercuriels	Chlorure d'éthylmercurique, bromure de phénylmercurique
Dithiocarbamate	Zineb, Maneb, Mancozèbe, Ziram
Composés chlorphénoxy	2,4-D, TCDD, DCPA, 2,4,5-T, 2,4-DB, MCPA, MCPP
Dipyridilium	Paraquat, diquat
Miscellaneous	DNOC, bromoxyl, simazine, triazamate

1.2.2. Classification des pesticides en fonction de la cible

Les insecticides, les fongicides, les herbicides, les rodenticides, les nématicides et les molluscicides sont sous-classés. Chaque groupe a été spécialement conçu pour cibler les nuisibles, mais ils ont des effets toxiques indésirables sur les organismes non ciblés (Cortet et al., 2003 ; Natal-da-Luz et

al., 2012 ; Gan et Wickings, 2017 ; Ghosal et al., 2018 ; Sanchez-Bayo et Wyckhuys, 2019 ; Fiera et al., 2020). Les principales classes de pesticides sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Classification des pesticides en fonction des organismes ciblés (PAN, 2019)

Types de pesticides	Usage et action	Exemples
Insecticides	Destinés à maîtriser ou éliminer ou à éviter l'invasion des insectes qui détruisent, tuent ou attaquent les végétaux.	DDT, Methyl Parathion, Phorate, Chloropyrifos
Herbicides	Employés pour combattre les mauvaises herbes nuisibles et autres plantes qui se développent avec les espèces cultivées, ce qui entraîne une croissance médiocre des plantes.	Acetochlor, Butachlor, Terbis
Fongicides	Destinés à supprimer ou à empêcher la prolifération des champignons, maladies qui affectent les plantes.	Carbendazim, Ampropylfos, Carboxin
Rodenticides	Employées pour éliminer les rongeurs	Warfarin, Arsenous oxide
Nematicides	Destinés à repousser ou à empêcher les nématodes qui causent des dommages à différentes cultures.	Aldicarb, Carbofuran

Molluscicides	Empêchent la croissance et tuent les escargots et les limaces.	Gardene, Fentin, Sulfate
Avicides	Employées pour éliminer les oiseaux nuisibles	Strychnine

2. Dispersion et devenir des pesticides dans l'environnement

Les produits phytosanitaires ont la capacité de se propager dans les divers éléments de l'environnement : l'air, le sol et l'eau (Anonyme, 2003). En raison de leur toxicité pour l'environnement, de leur capacité à s'accumuler dans le corps et de leurs effets endocriniens, ces substances représentent un danger pour l'environnement en général (Schrack et Coquil et al, 2009). Cela entraîne des intoxications à proximité ou à de grandes distances des zones touchées par ces substances (Gagaoua et al 2012), en cas de mauvaise utilisation, d'utilisation excessive ou de dispersion incontrôlée des pesticides dans l'environnement par dérive de pulvérisation, lixiviation ou ruissellement, ces substances chimiques peuvent entraîner la contamination de l'eau, de l'air et des sols. Ils ont un impact négatif sur les plantes et les espèces sauvages, ainsi que sur la biodiversité. Pendant et après l'application, lors du nettoyage de l'équipement ou en cas d'élimination non contrôlée et illégale des pesticides ou des récipients qui les contenaient, l'environnement peut être contaminé (Anonyme, 2007).

2.1. Pollution du sol

Bien que les pesticides puissent avoir un impact sur les écosystèmes édaphiques (Natal-da-Luz et al., 2012; Leitao et al., 2014; Pelosi et al., 2014), la contamination des sols est moins bien connue que celle des autres compartiments et n'est pas régulée.

Comme dans le cas du compartiment atmosphérique, c'est la présence des pesticides organochlorés qui est la plus connue (Qu et al., 2015; Ma et al., 2020). Cependant, certains travaux démontrent la présence de pesticides "plus récents" dans les sols (Bempah et al 2014). Deux recherches réalisées sur les sols viticoles ont révélé la présence de certains fongicides tels que le cyprodonil et le

fludioxonil après les traitements (Rial-Otero et al., 2004) ou encore le metalaxyl et la procymidone (Bermudez-Couso et al., 2007). Cela met donc clairement en évidence l'effet des traitements sur les niveaux de pesticides dans les sols.

2.1. Pollution de l'air

Dans le cadre d'un traitement, une partie de la substance active épanchée est émise directement dans l'air. Cette étape revêt une importance particulière dans les applications réalisées par hélicoptère ou par avion, et reste plus restreinte dans les applications terrestres traditionnelles.

Par des phénomènes d'évaporation et d'autres, des résidus de pesticides peuvent se déplacer des cultures vers le compartiment aérien. Les fuites de pesticides hors de la zone cible sont principalement causées par la volatilisation, en particulier lorsque les traitements ciblent la surface du sol ou celle des végétaux (Aprifel, 2004).

2.2. Pollution de l'eau

La pénétration des pesticides dans l'eau peut se faire par ruissellement de surface ou par lessivage. L'agence américaine de protection de l'environnement (EPA) estime que plus de 50 % de la pollution de l'eau des ruisseaux et des rivières est causée par le lessivage et le mélange de produits chimiques provenant des activités agricoles.

Les eaux souterraines sont contaminées par diverses sources, dont les activités agricoles. Selon l'US EPA (2016), les herbicides et les pesticides industriels font partie des principaux responsables de la pollution.

3. Mécanismes de transfert des pesticides dans l'environnement

Le déplacement des pesticides dans le sol suscite également des inquiétudes quant à leur mobilité et à leur dispersion. Il est possible que certains pesticides se déplacent plus facilement à travers les différentes couches du sol, ce qui permet leur atteinte aux nappes phréatiques et aux sources d'eau souterraine (fig. 1).

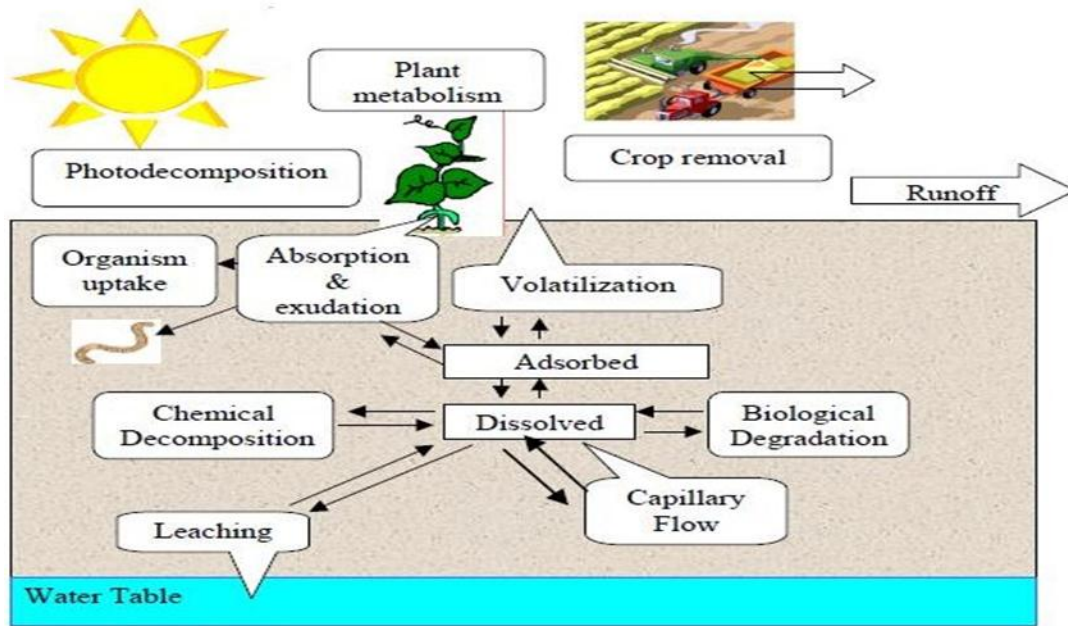


Figure 1: processus influençant le transfert des pesticides dans l'environnement (DEM, 2004).

3.1. Absorption par la plante

Les plantes peuvent absorber des pesticides à travers leurs feuilles et leurs racines (Cunningham et al., 1997 ; Hwang et al., 2017 ; Chaudhary et al., 2020). La détermination de la quantité collectée par les plantes est complexe et demande l'utilisation de molécules spécifiques (Grundmann et al., 2011).

Le système racinaire prélève des quantités variables de matières actives ou de métabolites, en fonction de la molécule et de l'espèce végétale en question (Grundmann et al., 2011 ; Wang et al., 2021).

3.2. Dégradation

La plupart des pesticides se décomposent ou se dégradent progressivement sous l'effet de réactions chimiques et microbiologiques dans les sols, d'autres se décomposent à la lumière solaire. La dégradation des substances est caractérisée par leur demi-vie (DT50) qui désigne le temps nécessaire (en jours) pour que 50% de la masse de la substance disparaissent du sol ou de l'eau à la suite des processus de dégradation. Les plus faibles valeurs de DT50 (<20 jours) indiquent des substances facilement dégradables alors que les valeurs les plus élevées (>180 jours) caractérisent

des temps de dégradation très longs, synonymes de composés stables, persistants dans l'environnement (FAO, 2000).

3.2.1. Hydrolyse et Photolyse

La dégradation est un processus qui peut être abiotique (hydrolyse, photolyse) ou biotique (dégradation microbienne). Son importance varie en fonction de la molécule, du type de sol et des conditions climatiques.

Une hydrolyse se produit lorsque le composé est dissocié en contact avec l'eau. L'acidité du milieu (pH) joue un rôle essentiel dans ce processus. La photolyse se produit lorsque l'un des composants se dissocie directement suite à son exposition au rayonnement (Maldonado et al., 2009), mais ces processus restent peu importants dans les sols en raison de la biodégradation.

3.2.2. Biodégradation

La biodégradation est le processus par lequel des micro-organismes transforment une substance. Les bactéries et les champignons sont les micro-organismes les plus employés pour dégrader les pesticides (Singh et Walker, 2006 ; Chin-pampillo et al., 2013).

Selon Arias-Estévez et al (2008), la biodégradation peut être influencée par divers facteurs, tels que la disponibilité d'oxygène (conditions aérobie/anaérobie) et d'éléments nutritifs, ainsi que l'importance de la population des micro-organismes nécessaires.

3.3. Mobilité

On retrouve la quantité de pesticide mobile dans les phases liquide et gazeuse du sol. La fraction disponible est celle qui peut être dégradée par les micro-organismes du sol et entraînée par les eaux. Elle est principalement réalisée grâce à trois mécanismes :

3.3.1. Ruissellement

Il est principalement responsable de l'écoulement des produits vers les eaux superficielles. Il est associé à la combinaison de plusieurs éléments favorables à sa mise en œuvre tels que la topographie, l'intensité des précipitations, la nature et la structure du sol, la nature du couvert végétal et le temps qui sépare l'application du pesticide de la première pluie (Jeunesse et al., 2015).

3.3.2. Lixiviation

Le transfert vertical des pesticides dans les sols est responsable de la pollution de la nappe souterraine. En particulier, cela sera influencé par les caractéristiques des pesticides, celles du sol, les facteurs de sorption du pesticide (K_{oc}) et le coefficient de ralentissement (le taux d'infiltration) (Van Beinum et al., 2005)

3.3.3. Volatilité

La volatilisation est l'une des principales méthodes de dégradation des pesticides utilisés (Jury et al., 1987). La détermination de cela repose sur les caractéristiques physico-chimiques du composé, telles que les coefficients de solubilité dans l'eau et d'adsorption, ainsi que sur le type de surface cible comme le sol et les surfaces végétales (Bedos et al., 2002).

4. Modèles d'évaluation du risque de contamination de la nappe phréatique

Les modèles les plus couramment employés pour évaluer le risque de pollution de l'eau des nappes phréatiques diffèrent selon les régions et les pays, ainsi que les caractéristiques des substances chimiques étudiées (Albinet et Margat 1970).

4.1. Modèle Pesticide Leaching Model (PLM)

On utilise ce modèle afin d'évaluer la lixiviation des pesticides dans le sol et leur pénétration dans les nappes phréatiques. Il considère des facteurs tels que la propriété des terres, les conditions météorologiques et les méthodes d'agriculture.

4.2. Modèle Pesticide Root Zone Model (PRZM)

Le modèle PRZM est un modèle de transfert de pesticides qui représente les étapes d'application, de dégradation, de sorption et de lixiviation des pesticides dans le sol. Il est fréquemment employé afin d'évaluer le risque de contamination des nappes phréatiques par les pesticides agricoles.

4.3. Modèle GeoPEARL

Ce modèle est employé afin d'évaluer l'exposition des nappes phréatiques aux pesticides à l'échelle régionale. Des informations sur les propriétés des pesticides, les caractéristiques hydrogéologiques et les méthodes agricoles sont intégrées afin d'évaluer les concentrations estimées dans les nappes phréatiques.

4.4. Modèle Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems(GLEAMS)

Le modèle GLEAMS est une approche intégrée qui évalue les conséquences des méthodes agricoles sur la teneur en pesticides des nappes phréatiques. Il considère les mécanismes de transport, de sorption, de dégradation et de libération des pesticides.

4.5. Modèle Pesticide Fate in the Environment (PE5)

On utilise ce modèle afin d'évaluer la persistance, la répartition et les niveaux de pesticides dans diverses matrices environnementales, y compris les nappes phréatiques. Son utilisation repose sur des informations concernant les caractéristiques physico-chimiques des pesticides, les caractéristiques du sol et les conditions hydrologiques.

4.6. Modèle de Gustafson

Ce modèle calcul l'indice GUS (Groundwater Ubiquity Score) qui évalue le risque de transfert des pesticides du sol vers la nappe en prenant en considération les caractéristiques des substances et celles du sol.

Chapitre 2

Matériel et méthodes

Dans l'objectif d'évaluer le risque de pollution des nappes phréatiques par les pesticides, nous avons opté pour l'application d'un modèle mathématique se basant sur les propriétés des matières actives. Pour ce faire, nous avons mené une enquête auprès d'agriculteurs de la wilaya de Tizi-Ouzou dans trois régions différentes (Chamlal, Taboukert et Chaoufa) afin d'identifier les pesticides utilisés.

1. Situation géographique des régions d'études

1.1. Taboukert

Taboukert est un village situé dans la commune de Tizi Rached dans la wilaya de Tizi-Ouzou en Kabylie. Il est traversé par la route nationale N12 et le fleuve Sebaou (Amraoua). Le village est très connu par ces cultures comme les oliviers, la vigne et les agrumes ; la parcelle cultivée possède une superficie de 3 Ha. Les coordonnées géographiques de la zone d'étude sont : latitude Nord $36^{\circ}70'06355$ et longitude Est $4^{\circ}21'24186$.



Figure 2 : localisation du village de Taboukert (Google maps, 2024)

1.2. Chamlal

Chamlal est une commune de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle se trouve à environ 13 km au Sud-Est de la ville de Tizi-Ouzou, les principales cultures de cet endroit sont les oliviers, les figuiers, les vignobles et les agrumes ; la parcelle cultivée possède une superficie de 2

Ha. Les coordonnées géographiques de la zone d'études sont : latitude Nord $36^{\circ}70'88965$ et longitude Est $4^{\circ}10'00616$.



Figure 3 : localisation de la commune de Chamlal (Google maps, 2024)

1.3. Chaoufa

Chaoufa est un village situé à l'Est de la ville de Mekla, dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Mekla se trouve à environ 12 Km au Sud de la ville de Tizi-Ouzou, la principale culture de ce village est les vignobles; la parcelle cultivée possède une superficie de 4 Ha. Les coordonnées géographiques de la zone d'étude sont : latitude Nord $36^{\circ}72'99040$ et longitude Est $4^{\circ}28'33822$.



Figure 4 : localisation du village de Chaoufa (Google maps, 2024)

2. Méthodologie de travail

La démarche méthodologique de la présente étude comporte trois phases : une enquête de terrain, une caractérisation des sols des trois régions et le calcul du risque de transfert des pesticides vers les eaux souterraines.

2.1. Enquête de terrain

Nous avons effectué notre enquête dans différentes parcelles de cultures variées dans la wilaya de Tizi-Ouzou. En utilisant un questionnaire comprenant 15 questions (annexe 1), nous avons pu collecter des renseignements sur les cultures utilisées, leurs âges, les maladies et les ravageurs qui attaquent ces cultures, les pesticides utilisés et leurs doses, le respect ou le non-respect des doses homologuées, les mesures de protection prises, etc. Notre enquête a été menée de février à avril 2024, avec trois sorties où nous avons pu entrer en contact avec trois agriculteurs.

2.2. Caractérisation des sols

2.2.1. Echantillonnage

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé la méthode d'échantillonnage en travers. Dans chaque parcelle, les échantillons ont été prélevés à une profondeur de 15 cm, sur 5 points le long d'une diagonale fictive sur la parcelle. On a mélangé les sols prélevés à chaque endroit afin d'obtenir un échantillon composite. Les échantillons sont mis dans des sacs en plastique, marqués et acheminés au laboratoire afin de les préparer pour l'analyse.

2.2.2. Préparation du sol

Les échantillons de sols ont été séchés à la température ambiante en laboratoire puis tamisés à l'aide d'un tamis à mailles de 2 mm de diamètre (fig. 5). Chaque échantillon est soumis à une série d'analyses physico-chimiques sur la terre fine obtenue.



Figure 5 : Etapes de la préparation des échantillons du sol.

2.2.3. Analyses physico-chimiques :

Pour évaluer le risque de pollution de la nappe par transfert de pesticides, il est essentiel de connaître les caractéristiques des sols. Les analyses réalisées lors de cette étude, comprennent la mesure du pH, la mesure du pouvoir de rétention de l'eau, le carbone organique total, l'analyse granulométrique et l'azote total. Une partie des analyses (le pH et le pouvoir de rétention de l'eau) a été réalisée au laboratoire PSEMRVC de la FSBSA, tandis que d'autres (la granulométrie et le carbone organique total) ont été réalisés dans le laboratoire de pédologie de l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF) de Baïnem. Le dosage de l'azote total a été effectué au laboratoire de contrôle qualité et conformité (SARL NEW MN) de Boumerdes.

2.2.3.1. Mesure du potentiel d'hydrogène du sol (pH) :

Le pH d'une solution est influencé par la quantité d'ions H^+ et OH^- . Dans le cas où les ions H^+ sont prédominants, la solution sera acide, tandis que lorsque ce sont les ions OH^- qui l'emportent, elle sera basique. Le pH du sol a été déterminé sur une solution aqueuse de 2/5 à l'aide d'un pH-mètre HI 2210 (fig. 6).

Le protocole consiste à mélanger 20 g de terre (< 2 mm) dans un bécher, avec 50 ml d'eau déminéralisée et à agiter le tout pendant une minute avec une baguette en verre, Après un repos de 2h. L'électrode est plongée dans le liquide surnageant afin d'effectuer la mesure (Mathieu et Pieltain, 2003).



Figure 6 : Etapes de mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

2.2.3.2. Mesure du pouvoir de rétention de l'eau :

Les sols ont une porosité qui détermine leur capacité de rétention de l'eau. Elle est encore appelée humidité (hygrométrie) et est exprimée en pourcentage de la quantité d'eau présente dans un sol par rapport à son volume total. Les lacunes des sols ont une capacité de rétention d'eau qui varie en fonction de la teneur en limons et en argiles, car il s'agit d'un phénomène capillaire : l'adsorption est d'autant plus importante que la taille des particules est plus faible (François, 2008).

Le concept de cette analyse consiste à remplir les mottes de terre d'eau jusqu'à saturation, puis à les égoutter à l'aide d'un papier filtre. Les mesures de poids de la terre sont effectuées avant et après séchage (fig. 7). On peut donc calculer l'eau retenue (ER) de la manière suivante.

$$ER = (\text{Poids humide} - \text{Poids sec}) * 100 / \text{poids sec}$$



Figure 7 : Etapes de détermination du pouvoir de rétention de l'eau

2.2.3.3. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est réalisée sur une prise d'essai de 10g de terre fine. L'objectif de cette méthode est de déterminer le taux des différentes fractions de particules minérales (argiles, limons, sables) qui composent les agrégats.

Cette analyse a été effectuée en utilisant la méthode internationale modifiée par l'utilisation de la pipette de Robinson. La méthode implique d'abord la dégradation de la matière organique en utilisant de l'eau oxygénée (H_2O_2), puis la dispersion des particules en utilisant un dispersant énergétique, à savoir l'héxamétaphosphore de sodium. Après l'agitation mécanique des prélèvements en été effectués en respectant le temps de sédimentation.

2.2.3.4. Dosage du carbone organique total :

La méthode Anne est utilisée pour doser le COT. On procède à l'oxydation à chaud en utilisant une solution de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) dans un milieu acide. Il est nécessaire que la quantité de bichromate soit supérieure à celle requise pour l'oxydation du carbone organique du

sol. Ensuite, on titre l'excès de $K_2Cr_2O_7$ qui n'a pas réagi en utilisant une solution de sel de Mohr en présence de diphénylamine dont la couleur varie successivement entre le bleu foncé, le brun noirâtre, le violet puis le vert (Mathieu et Pieltain, 2003).

2.2.3.5. Dosage de l'azote total :

L'azote total d'un sol constitue la réserve globale d'azote contenue dans l'humus, réserve dont la rapidité de mobilisation (par minéralisation) est très variable suivant le type d'humus (mull, mor, moder). La teneur en azote total est un bon indice de fertilité, à condition d'être interprétée en fonction du rapport C/N.

Dans le procédé Kjeldhal, la matière organique azotée de l'échantillon est minéralisée par l'acide sulfurique concentré, à chaud (action oxydante de H_2SO_4). Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de dioxyde de carbone (gaz) et d'eau. L'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniac (Mathieu et Pieltain, 2003).

2.3. Méthode mathématique :

Parmi les indicateurs basés uniquement sur les propriétés des produits phytosanitaires, le plus courant est l'indice d'ubiquité de Gustafson (1989), GUS « Groundwater Ubiquity Score » qui relie le potentiel d'adsorption et le potentiel de dégradation pour caractériser un potentiel de mobilité, c'est-à-dire sa capacité à rejoindre les eaux souterraines (Khan et Liang, 1989). L'idée est de distinguer les produits phytosanitaires « lessivables », susceptibles de rejoindre les eaux souterraines, de ceux qui ne le sont pas, les « non-lessivables ».

2.3.1. Calcul de l'indice de GUS :

Le GUS calcule un index potentiel de contamination des eaux souterraines par une substance phytosanitaire spécifique en se basant sur le temps de demi-vie de la substance (DT_{50}) et du coefficient de partage normalisée par la fraction de carbone organique défini pour cette substance.

$$GUS = \log(DT_{50}) * (4 - \log(Koc))$$

DT_{50} temps de demi-vie (en jours)

Koc coefficient de partage carbone organique - eau (l/kg)

2.3.2. Interprétation :

Selon Gustafson (1989), cet indice permet de classer le risque de pollution de la nappe phréatique par les pesticides en trois catégories :

GUS < 1.8 : le risque est faible (substances immobiles)

GUS > 2.8 : le risque est élevé (substances très mobiles)

GUS est compris entre 1.8 et 2.8 : le risque est faible à élevé (substances moyennement mobiles)

Chapitre 3

Résultats et discussion

1. Résultats

La présente étude comporte trois étapes. Après l'enquête menée auprès des agriculteurs, des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur les sols afin de les caractériser. Enfin, un indice de transfert des pesticides vers les nappes phréatiques a été calculé pour évaluer le risque de contamination de celles-ci.

1.1. Résultats de l'enquête

Les données concernant cette étude ont été collectées grâce à des enquêtes par questionnaires réalisées entre février et avril 2024. Des agriculteurs des régions de Chamlal, Taboukert et Chaoufa ont été interrogés, pour faire un relevé des pesticides utilisés et identifier leurs matières actives. Le tableau 3 illustre les résultats de cette enquête.

Il ressort de cette investigation que les pesticides utilisés sur l'oranger sont des insecticides, particulièrement le Decis et l'huile blanche, ainsi que les fongicides (bouillie bordelaise).

Les ravageurs signalés pour cette culture sont les insectes suceurs comme les cochenilles et les pucerons, les aleurodes et la cécidie. Les maladies cryptogamiques de l'oranger sont la pourriture grise et la fumagine dans le verger de Chamlal et le mildiou dans l'orangerie de Taboukert.

D'autres produits à action insecticide sont utilisés dans ces stations à savoir, l'Abamectine à Chamlal et Drago combi, Confidor et Mospilan à Taboukert.

Concernant le vignoble de Chaoufa, les pesticides utilisés sont les fongicides (Bellis, Phyto cap, Mikal flash, Aktuan et Ridomil gold) pour lutter contre le mildiou, l'oïdium et la pourriture grise, ainsi qu'un insecticide ; le Fastac.

Nous constatons aussi que les agriculteurs ayant reçu une formation sur les produits phytosanitaires adoptent toutes les mesures de protection. Les traitements sont réalisés avec un tracteur menu d'une citerne malgré la superficie relativement réduite de la parcelle. Le nombre de traitements est fixé à deux par saison.

Par contre, chez les agriculteurs n'ayant pas reçu de formation, le nombre de traitements n'est pas fixe. En effet, les traitements sont répétés selon la demande.

Tableau 3 : résultats de l'enquête de terrain

	Oranger (Chamlal)	Oranger (Taboukert)	Vigne (Chaoufa)
Date de l'enquête	08/02/2024	23/04/2024	23/04/2024
Age de la culture	Depuis l'époque coloniale	10 ans	4 ans
Superficie	2 hectares	3 hectares	4 hectares
Arrosage	Puits et rigole	rigole	Goutte à goutte
Formation	Oui	Non	
Ravageurs et maladies	-Aleurode -Mineuse -Cochenilles -Pourriture brune -Fumagine	-Pucerons -Cératite -Mildiou	-Oïdium -Mildiou -Pourriture grise
Pesticides utilisés	-Huile blanche -Decis -Bouillie bordelaise -Abamectine	-Drago Combi -Confidor -Mospilan -Decis -Huile blanche -Bouillie bordelaise	-Bellis wg -Phyto Cap -Aktuan -Fastac 100cc -Mikal flash -Ridomil Gold
Dosage des produits	2l huile blanche +1kg bouillie bordelaise + 200l eau	10 Kg/Ha bouillie bordelaise 20L/Ha huile blanche	2 Kg/Ha Ridomil Gold 80g/Ha Bellis
Période de traitement	-hiver -début printemps (juste avant floraison et nouaison)	-février et mars (juste après taille des arbres) -autres traitements selon la demande.	-avril -jusqu'à 15 jours avant la récolte, selon la demande.
Date de récolte	10 novembre à février	A partir du 15 janvier	Septembre/ novembre
Type de pulvérisateur	Tracteurs menés de citernes		Manuelle
Mesures de protection	-Combinaison -Cottes à bretelles -Gants -Lunettes -Masque à gaz	Masque à gaz	Aucune mesure de protection

1.2. Caractérisation des sols

Une caractérisation physico-chimique des sols des trois stations d'étude a été réalisée pour comprendre le comportement des pesticides.

1.1.1. Détermination du potentiel d'hydrogène

Les valeurs de pH obtenues dans les divers sites étudiés varient entre 7,57 pour le sol de la parcelle de Chaoufa et 7,66 pour celui de la parcelle de Chamlal (fig. 8). Cela indique que les sols des trois parcelles étudiés, sont faiblement alcalins et proches de la neutralité.

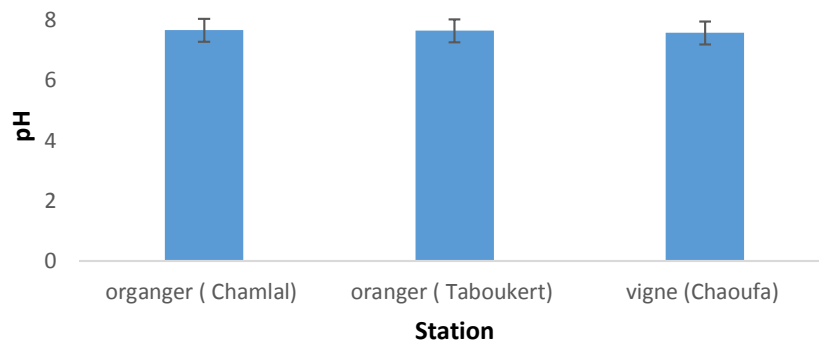


Figure 8 : Résultats du pH des sols des trois sites étudiés.

1.1.2. Mesure de la capacité au champ

Selon ces résultats, il est observé que les valeurs de la capacité au champ diffèrent d'un site à l'autre. La valeur la plus faible (36,36%) a été enregistrée dans le sol de Taboukert, suivi du sol de Chamlal avec 54.55% et du sol de Chaoufa avec 60% (fig. 9).

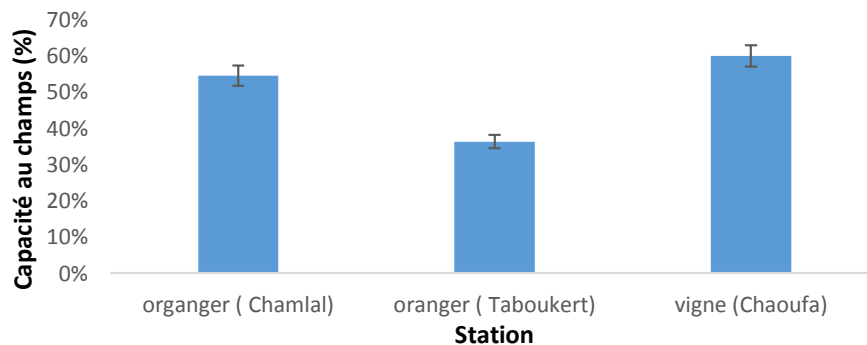


Figure 9 : Valeurs de la rétention en eau des sols des sites étudiés

1.1.3. Granulométrie

Les fractions granulométriques des échantillons des sols étudiés sont représentées dans la figure 10. Le sol de Chamlal présente le taux le plus élevé en limons, alors que le sol de Taboukert contient la proportion la plus élevée en sables. Le sol de la parcelle de Chaoufa, quant à lui, présente la teneur la plus élevée d'argiles.

Des similitudes sont observées entre la composition granulométrique des sols de Chamlal et Chaoufa.

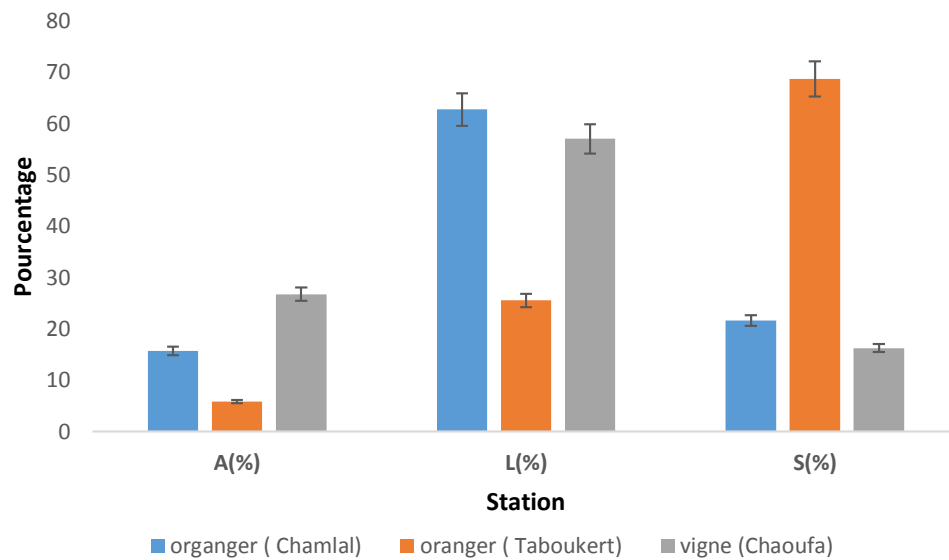


Figure 10 : résultats de l'analyse granulométrique des sols des sites étudiés.

La projection des proportions des fractions granulométriques sur le triangle textural indique que les sols des trois stations sont de texture limon sableux pour la parcelle de Chamlal, et limoneux pour celui de Taboukert et limon argileux sableux pour la parcelle de Chaoufa.

1.1.4. Matière organique

Les concentrations de carbone organique total des échantillons des sols analysés sont présentées dans le tableau 3. Ainsi que leurs interprétations selon les normes (Annexe 2).

Selon les résultats obtenus, la teneur carbone organique total des échantillons des sols des trois sites étudiés varie entre 1,27 pour celui de la parcelle de Taboukert et 2,64 pour celui de la parcelle de Chamlal.

Tableau 4 : analyse du carbone organique total des sols étudiés.

Sol	COT	Interprétation
Chamlal	2,64	Riche en MO
Taboukert	1,27	Moyennement pauvre en MO
Chaoufa	1,9	Moyennement pauvre en MO

1.1.5. Teneur en azote total

Les concentrations d'azote (N) des échantillons des trois sols analysés ont été présentées dans le tableau 4. Ainsi que leurs interprétations selon les normes (Annexe 2). Selon les résultats obtenus, on constate que les teneurs en azote des sols étudiés varient de 0,13% pour la parcelle de Chaoufa et 0,28% pour celui de Chamlal.

Tableau 5 : les teneurs en azote (N) des sols étudiés

Sol	Azote (%)	Nature du sol
Chamlal	0,28	Très riche
Taboukert	0,14	moyen
Chaoufa	0,13	moyen

1.1.6. Mesure du rapport C/N :

Les résultats de la mesure de l'activité biologique par le rapport carbone/azote des sols étudiés sont illustrés dans la figure 11.

Selon les résultats, l'activité biologique mesuré la plus élevée est celle de la parcelle de Chaoufa qui est de 14.61 suivi de celle de Taboukert et de Chamlal avec 9.43.

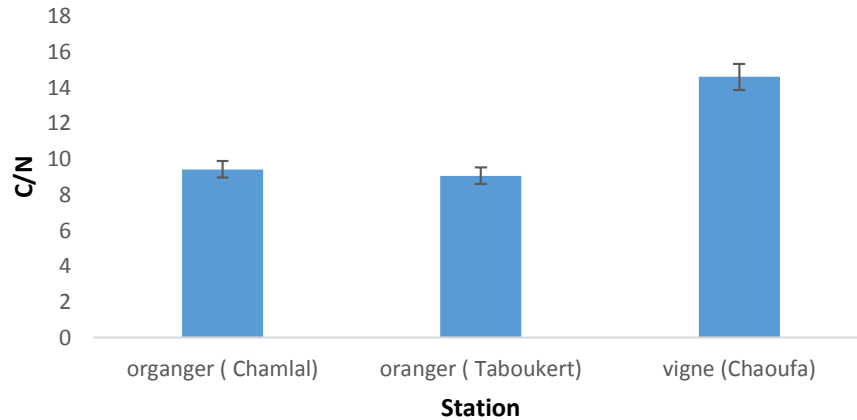


Figure 11 : résultats du rapport C/N des sols étudiés

1.2. Evaluation du risque de pollution de la nappe phréatique par les pesticides

Les résultats obtenus lors du calcul de l'indice de transfert des pesticides du sol vers le sous-sol sont présentés dans le tableau 5.

L'indice GUS a été calculé en fonction de la demi-vie et du coefficient de partage carbone organique-eau des matières actives des pesticides utilisés.

Les valeurs de l'indice de Gustafson indiquent qu'un seul pesticide présente un risque élevé de contamination de la nappe phréatique. Il s'agit de l'insecticide Confidor, ayant comme matière active l'imidaclopride, utilisé dans l'orangerie de Taboukert.

Concernant les fongicides Rodmil gold (chlorothalonil et métalaxyl-M), Aktuan (diméthomorphe et dithianon) et Bellis (boscalide et pyraclostrobine), utilisés dans le vignoble de Chaoufa, ils présentent un risque faible à élevé.

Tableau 6 : Indice de transfert des pesticides vers l'eau du sous-sol.

Pesticides	Matière(s) active(s)	DT50 (j)	Koc (ml/g)	Référence	Indice de transfert (GUS)
Phytocap	Captane	0,9	97	SAGÉ.Qc.Canada,	-0,09
Ridomil Gold combi	Chlorothalonil	03-37	1300-1400	SAGÉ.Qc.Canada	-0,22 à 6,21
	Métalaxyl-M	115-200	20-1299		
Aktuan	Diméthomorphe	74	290-1588	Anses	-0,19 à 2,87
	Dithianon	13,9	14791		
Confidor	Imidaclopride	157- 973	41-1560	SAGÉ.Qc.Canada	2,41 à 7,13
Mospilan	Acétamipride	5,4	106,5	Anses, 2012	1,44
Decis	Deltaméthrine	6,12-72	269587-2741742	SAGÉ.Qc.Canada	-4,53 à -1,12
Abamectine	Abamectine ou avermectine b1a	28,4	5638	Rapport d'évaluation SCBP24-Doc.2a directive 98/8/EC	0,36
Bellis wg	Boscalide	314	715,5	Anses,	0,04 à 2,86
	Pyraclostrobin	37	9304		
Fastac 100cc	Alphamétrine	103	260432	Anses	-2,85
Mikal flash	Folpel	2	21866	Agritox, 2006.	-0,1 à -1,07
	Fosétyl-AL	0,04	1703		
Drago combi	Cypérméthrine	20-61	20800-328500	SAGÉ.Qc.Canada	-2,70 à 0,27
	pirimiphosmethyl	3,5-25	3162-3163		

● Risque élevé

● Risque faible à élevé

● Risque faible

2. Discussion

Afin de préserver les cultures contre les agresseurs en constante évolution et de garantir un rendement optimal en quantité et en qualité afin de répondre aux exigences du marché, les agriculteurs interrogés dans les régions enquêtées utilisent une variété assez étendue de produits phytosanitaires.

La formation en matière d'utilisation des produits phytosanitaires revêt une importance capitale afin de préserver la santé humaine et l'environnement, ainsi que pour améliorer les méthodes agricoles. Son utilisation diminue les risques d'exposition accidentelle et les erreurs d'application, ce qui améliore la sécurité des travailleurs agricoles (Pretty et Bharucha, 2015). Elle aide aussi à approfondir la compréhension des conséquences écologiques des pesticides et à adopter des pratiques respectueuses de l'environnement (FAO, 2014). Selon Matthews (2008), la formation permet de sélectionner et de maintenir les équipements de manière adéquate, ce qui diminue la dérive des pesticides et garantit une couverture uniforme. Il est également possible pour les agriculteurs formés de profiter des technologies de pulvérisation les plus récentes afin d'améliorer l'efficacité des traitements (Noyes, 2017). En suivant les calendriers de traitement et en gérant intégralement les parasites lors de la formation, il est possible d'optimiser l'efficacité des produits et de diminuer les résistances chez les parasites (Zhang & Swinton, 2009 ; Carvalho, 2006).

Lors de notre étude, réalisée dans les trois stations (Chamlal, Taboukert et Chaoufa), nous avons cherché à identifier la nature des produits les plus couramment utilisés par les agriculteurs. L'étude a révélé que leur utilisation variait d'une région à l'autre, en fonction de la culture et des bio-agresseurs visés, avec une prédominance des fongicides qui représentent un moyen efficace de gestion des principales maladies fongiques des plantes cultivées. Il est probable que leur utilisation soit due aux conditions climatiques favorables à la prolifération des maladies fongiques, comme le mildiou (*Phytophthora infestans*) et l'oïdium (*Erysiphe necator*), suivis des insecticides à cause de l'infestation des arbres par les insectes nuisibles comme la mouche blanche, la cératite, les cochenilles et les pucerons. L'emploi de ces produits en Algérie est conditionné par les conditions météorologiques et les méthodes agricoles locales. En raison des conditions climatiques propices à ces maladies fongiques, les fongicides, notamment ceux qui combattent le mildiou et l'oïdium, sont couramment employés (Bouزيد et Gharbi, 2014). Pour leur part, les insecticides sont souvent

utilisés pour préserver les cultures des insectes nuisibles, en particulier pendant les périodes d'infestation intense. Dans l'ensemble, l'emploi des fongicides et des insecticides en Algérie suit des tendances proches de celles observées dans d'autres régions agricoles du globe. Pour les mêmes raisons, les fongicides à base de cuivre et les néonicotinoïdes sont fréquemment employés en Europe et en Amérique du Nord, par exemple (Eurostat, 2020 ; USDA, 2019). Cependant, il convient de souligner une prise de conscience croissante des conséquences environnementales et sanitaires de ces produits, ce qui entraîne une adoption progressive de pratiques agricoles plus durables, comme la gestion intégrée contre les ravageurs (GIR) et l'utilisation de produits biologiques (Pretty et al., 2018).

Des insecticides sont parfois utilisés alors qu'il n'y a pas de ravageurs sur la culture. L'objectif principal de cette approche est de prévenir les infestations à venir et de préserver les rendements agricoles contre les pertes éventuelles (Pedigo et Rice, 2009). Dans certaines régions, elle est souvent justifiée par la nécessité de préserver les cultures et par des pratiques traditionnelles bien établies (Pretty et al., 2018). Toutefois, ce recours non spécifique peut entraîner la formation de résistances chez les populations de ravageurs, accroître l'empreinte écologique des substances chimiques et représenter des dangers pour la santé humaine (Alavanja et al., 2004 ; Aktar et al., 2009). La promotion de pratiques de gestion intégrée des ravageurs (GIR) est une approche plus durable qui vise à réduire l'utilisation préventive des insecticides tout en garantissant une protection efficace des cultures (Gould, 1998).

Dans deux stations d'orangers, différents produits phytosanitaires sont utilisés pour cibler des ravageurs et maladies spécifiques. Dans la station de Chamlal, l'huile blanche, le Decis, la bouillie bordelaise et l'abamectine sont utilisés pour lutter contre les aleurodes, cochenilles, pourriture brune et fumagine. Dans la station de Taboukert, ce sont les pesticides Drago combi, Mospilan, Decis, huile blanche et bouillie bordelaise qui sont employés pour combattre les pucerons, la cératite et le mildiou.

L'utilisation de plusieurs produits est justifiée par la nécessité de couvrir une gamme variée de ravageurs et maladies, chaque produit ayant des cibles spécifiques. Par exemple, l'huile blanche étouffe les insectes à corps mou, tandis que la bouillie bordelaise est un fongicide efficace contre des maladies comme la pourriture brune et le mildiou (Rustica, 2019). Le Decis (deltaméthrine)

cible une large gamme d'insectes, y compris les aleurodes et les pucerons (Syngenta, 2019). Le Mospilan (acétamipride) est particulièrement efficace contre les pucerons, et l'abamectine est utilisée contre les aleurodes et les acariens (INRA, 2018). Le Drago combi, bien que sa composition exacte nécessite une vérification, est formulé pour étendre le spectre d'action (Bayer 2021).

Notre enquête a confirmé que les agriculteurs qui n'ont pas reçu de formation utilisent les pesticides d'une façon abusive et anarchique, se souciant peu de leur impact sur les différents compartiments environnementaux (sol, l'eau et l'air). En effet, L'utilisation anarchique des pesticides par les agriculteurs non formés peut entraîner une série d'effets néfastes sur l'environnement. Les pesticides peuvent contaminer les sols, altérant leur fertilité et leur biodiversité microbienne (Singh et al., 2014; Gilliom et al., 1999). De plus, la lixiviation des produits chimiques vers les eaux souterraines et de surface contribue à la pollution de l'eau, affectant la qualité et la sécurité de l'approvisionnement en eau potable (Stehle et Schulz, 2015). La volatilisation des pesticides dans l'air peut également conduire à une contamination atmosphérique, exposant les populations à des risques pour la santé (MacKay et al., 1994; Fenske et al., 2002). Pour minimiser ces impacts, des pratiques agricoles durables et une formation adéquate sur l'utilisation sécuritaire des pesticides sont cruciales.

Les agriculteurs n'ayant reçu aucune formation sur les produits phytosanitaires ne respectent pas également les mesures de protection lors de l'épandage des pesticides (gants, combinaison, masque à gaz, lunettes, cottes à bretelles). Ceci peut les exposer à des dangers sur le plan sanitaire. L'utilisation de pesticides sans respect des mesures de protection expose les agriculteurs à divers risques sanitaires graves selon la littérature. Les effets incluent des problèmes respiratoires comme l'asthme et la bronchite, des irritations cutanées et des dermatoses, des dommages neurologiques potentiels, des perturbations hormonales et des risques accrus de cancers (Beseler et al., 2008; Quirós-Alcalá et al., 2014; Kamel et al., 2013; Rahman et al., 2016; Blair et al., 2015). Ces études soulignent l'importance cruciale d'une formation adéquate et du respect strict des équipements de protection individuelle pour réduire les dangers pour la santé associée à l'usage des pesticides en milieu agricole.

Par ailleurs, la caractérisation physico-chimique des sols des trois stations a fait ressortir une variabilité, parfois importante de leurs propriétés, exception faite pour le pH.

Le pH mesuré varie entre 7,56 et 7,66, ce qui signifie que les trois sols des parcelles étudiés sont faiblement alcalins. En effet, le pH influence la composition de la masse microbienne et modifie, par conséquent, la nature et les cinétiques de dégradation des pesticides. Pieuchot et al. (1996) ont ainsi observé que la demi-vie était supérieure dans un sol à pH 7,3 par rapport à un sol acide (pH 5,6).

Les résultats de l'analyse granulométrique indiquent que les sols de Chamlal et de Chaoufa sont plus riches en argile. Ils ont une rétention en eau sensiblement plus élevée que celui de Taboukert, plus sablonneux, ce qui entraîne une mobilité plus réduite des pesticides dans les deux premières stations. Selon Spark et Swift (2002), une augmentation du taux d'argile entraîne une diminution de la mobilité des pesticides.

La rétention de l'eau est principalement influencée par la texture du sol. La quantité d'argile joue un rôle essentiel ; plus elle est importante, plus le sol est humide et retient davantage l'eau. La rétention en eau influence le transport en profondeur des pesticides, comme le soulignent plusieurs auteurs (White et al., 1986 ; Edwards et al., 1993 ; Brown et al., 1995 ; Flury et al., 1995 ; Guimont et al., 2005). De manière générale, les pertes par lessivage seraient plus significatives et rapides lorsqu'on applique le produit sur un sol sec par rapport à un sol humide.

Le sol de Chamlal est le plus pourvu en matière organique par rapport aux sols des autres stations dont les sols sont assez pauvres en matières organiques.

L'évaluation du risque de transfert des pesticides vers la nappe phréatique, calculé par l'indice GUS, montre que les matières actives de certains pesticides utilisés dans les stations de Taboukert et Chaoufa sont particulièrement susceptibles de migrer vers les eaux souterraines en raison de leur forte mobilité et leur faible adsorption aux particules du sol.

L'imidaclopride, matière active de l'insecticide Confidor utilisé dans l'oranger de Taboukert présente un risque élevé de contamination de la nappe phréatique, ce qui serait dû à sa forte mobilité dans le sol. En effet, dans cette station, le sol présente un taux d'argile de 5.85% et assez pauvre en matière organique. Selon Bailey et White (1970), la matière organique (MO) du sol et les minéraux argileux sont principalement responsables du comportement des pesticides.

Le Ridomil gold, utilisé dans le vignoble de Chaoufa, présente un risque de transfert faible à élevé (indice GUS pouvant dépasser 6) vers le sous-sol car la dégradation des matières actives qui le constituent est dépendante du pouvoir dégradeur du sol. Etant donné que celui-ci est assez peu pourvu en matière organique, la communauté de microorganismes pourrait être moins abondante et moins active. Selon Gobat et al. (1998), les micro-organismes présents dans un sol (bactéries, champignons, actinomycètes et algues) et leur abondance font que l'écosystème « sol » possède un pouvoir détoxifiant parmi les plus élevés des milieux naturels. En effet, la biodégradation est ralentie en raison d'une activité biologique réduite.

Le risque de contamination de la nappe par d'autres fongicides utilisés dans la parcelle de Chaoufa (Aktuan et Bellis) est modéré puisque dans les pires des situations, l'indice GUS dépasse très légèrement 2,8. Ceci serait dû à la teneur assez élevée en argile de ce sol (26,75%) qui lui confère un pouvoir plus important de rétention des pesticides.

Pour ce qui est des autres matières actives utilisées dans les stations de Taboukert et Chaoufa, leur dégradation est très rapide dans les sols (0,9j pour Phytocap et 2j pour Mikal flash par exemple), c'est pourquoi elles présentent un faible risque de transfert vers les eaux souterraines.

Enfin, le sol de Chamlal qui est bien pourvu en argile et en matière organique, offre la possibilité d'une rétention importante des pesticides (5638 l/kg pour l'Abamectine et 269587-2741742 l/kg pour le Décis) ainsi qu'une bonne biodégradation, d'autant plus que le pH est favorable à l'activité des microorganismes et que le rapport C/N soit inférieur à 10. Ceci expliquerait le faible risque de transfert des pesticides utilisés dans cette parcelle (Abamectine et Decis) vers la nappe phréatique. De plus, dans cette orangerie, la fréquence d'utilisation des pesticides n'est pas élevée comme l'a révélé l'enquête de terrain.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'évaluation du risque de transfert des pesticides vers la nappe phréatique est cruciale pour la protection des ressources en eau souterraine et, par conséquent, pour la santé publique et l'environnement.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que plusieurs pesticides sont utilisés simultanément dans la même culture. Il s'agit des fongicides et des insecticides, vu que les parcelles enquêtées soit infestées par des insectes et par des champignons.

Les agriculteurs ayant reçu une formation sur l'utilisation des produits phytosanitaires respectent mieux la fréquence des traitements et utilisent tous les moyens de protection.

Les résultats obtenus concernant les sols des trois stations ont mis en évidence une variabilité assez importante des propriétés physico-chimiques.

Le sol de Chamlal est faiblement alcalin et possède une forte teneur en argiles, il limite la mobilité verticale des pesticides. De plus, une présence significative de matière organique qui favorise la sorption des pesticides, prolongeant ainsi leur persistance dans l'environnement.

Le sol de Taboukert est caractérisé par son pH faiblement alcalin, sa texture sablonneuse et sa faible teneur en matière organique, favorisant une forte mobilité et une dégradation plus rapide des pesticides.

Le sol de Chaoufa, bien que similaire au sol de Chamlal en termes de pH et de richesse en argiles, la faible teneur en matière organique du sol peut réduire la capacité du sol à dégrader les pesticides naturellement.

L'évaluation du risque de transfert des pesticides recensés vers l'eau du sous-sol par l'indice GUS a révélé que le Confidor présentait un risque élevé.

Concernant les fongicides Rodmil gold, le risque de transfert est faible à élevé, avec un indice GUS pouvant dépasser la valeur de 6.

L'Aktuan et le Bellis quant à eux, présentent aussi un risque faible à élevé, mais la valeur de l'indice de Gustafson dépasse très légèrement 2,8 dans les pires des scénarios.

Conclusion générale

Pour ce qui est des autres matières actives, elles présentent des valeurs faibles de l'indice GUS car ces substances se dégradent très rapidement dans le sol.

Nous soulignons ainsi la nécessité de développer des stratégies de gestion agricole durable pour minimiser l'impact des pesticides sur les ressources en eau souterraine. La mise en place de bonnes pratiques agricoles, telles que l'utilisation de pesticides moins persistants, réduire le recours à plusieurs produits ciblant les mêmes ravageurs ou maladies. Cela passe par une surveillance rigoureuse des cultures pour identifier précisément les besoins en traitement, le contrôle de la dose appliquée et le choix de périodes d'application appropriées, peut réduire significativement le risque de contamination. De plus, la surveillance continue de la qualité des eaux souterraines est essentielle pour détecter et gérer les contaminations potentielles.

Pour aller plus loin, il serait pertinent de développer des modèles prédictifs plus sophistiqués intégrant des données à long terme et des scénarios climatiques variés pour mieux anticiper les risques futurs. De plus, la recherche devrait se concentrer sur l'élaboration de pesticides alternatifs moins nocifs pour l'environnement (biopesticides par exemple) et sur l'amélioration des techniques de remédiation pour les nappes phréatiques contaminées.

Bien que des progrès significatifs aient été réalisés dans la compréhension des mécanismes de transfert des pesticides et dans l'évaluation des risques associés, il reste encore beaucoup à faire pour protéger nos ressources en eau souterraine de manière efficace et durable, une collaboration renforcée entre chercheurs, agriculteurs, décideurs politiques et organismes de réglementation est indispensable pour élaborer et mettre en œuvre des politiques efficaces de gestion des pesticides. L'éducation et la sensibilisation des agriculteurs aux risques associés à l'utilisation des pesticides et aux pratiques agricoles durables doivent également être une priorité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Aktar, W., et al. (2009).** Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1-12.
- **Alavanja, M. C. R., et al. (2004).** Pesticides and Health Risks. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 10(2), 123-133.
- **Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., et Hackett, G. (1987).** DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035, 455p.
- **Anonyme, (2003).** Alimentation, environnement, travail. Portail des bases de données de priorité des pesticides, 54p.
- **Arias-Estévez, M., Lopez-Periago, E., Martinez-Carballo, E., Simal-Gandara, J., Mejuto, J.C., et amp; Garcia-Rio, L. (2008).** The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123(4), 247-260.
- **Bailey, G. W., et White, R. E. (1970).** Interactions of Soil Organic Matter and Clay Minerals in Pesticide Behavior. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34(6), 926-930.
- **Bayer. (2021).** Documentation technique sur Drago Combi : Composition et utilisation. Bayer CropScience, Leverkusen, 24 p.
- **Bedos, C., Cellier, P., Calvet, R., Barriuso, E., et amp; Gabrielle, B. (2002).** Mass transfert of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants : overview. *Agronomie*, 22(1), 21-33.
- **Bempah, C. K., Buah-Kwofie, A., et Enimil, E. (2014).** Occurrence and levels of pesticide residues in vegetables from Ghana markets. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 6(8), 88-97.
- **Bensalem, F. (2015) :** Impacts écologiques de la présence de quelques substances prioritaires (pesticide agricoles, hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényles, organo-métaux) dans un écosystème littoral anthropisé, le complexe lac Ichkeul- lagune de Bizerte. Thèse de Doctorat de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour ; l'Université de Carthage, 223p.

Références bibliographiques

- **Bermudez-Couso, A., Arias-Estevez, M., Novoa-Munoz, J. C., Lopez-Periago, E., Soto-Gonzalez, B., Simal-Gandara, J., et amp; Press, A. I. N. (2007).** Seasonal distributions of fungicides in soils and sediments of a small river basin partially devoted to vineyards. *Science of the Total Environment*, 379(1), 109-118.
- **Beseler, C. L., Stallones, L., Hoppin, J. A., Alavanja, M. C. R., Blair, A., Keefe, T., et Kamel, F. (2008).** Pesticide Exposure and Asthma Among Farm Women in the Agricultural Health Study. *Environmental Health Perspectives*, 116(7), 949-954.
- **Blair, A., et al. (2015).** Pesticides and human health. In: *Pesticide Use and Management*. Springer, Cham, pp. 155-178.
- **Bouزيد, S., et Gharbi, F. (2014).** Utilisation des fongicides pour la gestion du mildiou et de l'oïdium : une revue. *Revue des Régions Arides*, 33(1), 97-110.
- **Brown, A., Davis, R., Clark, M., et Harris, B. (1995).** Influence of Soil Organic Matter on Pesticide Degradation. *Journal of Environmental Quality*, 24(4), 698-704.
- **Calvet, R., Barriso, 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.
- **Carvalho, F. P. (2006).** Pesticides, environment, and food safety. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 40 p.
- **Chaudhary, N., Choudhary, K. K., Agrawal, S. B., et Agrawal, M. (2020).** Pesticides Usage, Uptake and Mode of Action in Plants with Special Emphasis on Photosynthetic Characteristics. *Pesticides in Crop Production : Physiological and Biochemical Action*, (1)1, 159-180.
- **Chin-pampillo, J. S., Rodr, C. E., et amp; Ruiz-hidalgo, K. (2013).** On farm biopurification systems: role of white rot fungi in depuration of pesticide-containing wastewaters. *FEMS microbiology letters*, 345(1), 1-12.
- **Circaete J-B., et Malausia J-C., 2002.** Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Ministère de l'écologie et du Développement Durable. UIPP. 4^{ème} trimestre. 861p.
- **Cortet, J., Joffre, R., Elmholt, S., et amp; Krogh, P. H. (2003).** Increasing species and trophic diversity of mesofauna affects fungal biomass, mesofauna community structure and organic matter decomposition process. *Biologie and Fertility of Soils*, 37(5), 302-312.

Références bibliographiques

- **Cunningham, S. D., Shann, J. R., Crowley, D. E., et amp; Anderson, T. A. (1997).** Phytoremediation of Contaminated Water and Soil. In Phytoremediation of Soil and Water Contaminants. American Chemical Society. 664, 2-17.
- **Edwards, W., Miller, D., Thompson, R., et Williams, S. (1993).** Effects of Soil Texture on Pesticide Movement. Soil Science Society of America Journal, 57(2), 345-352.
- **El azzouzi E. (2013) :** Processus Physico-chimiques d'Élimination des pesticides dans l'environnement : Cas de l'Imazéthapyr. Thèse de Doctorat. Université Mohammed V – Agdal, Rabat, 108 p.
- **Eurostat. (2020).** Pesticide Sales and Use Statistics in Europe. Eurostat Publications.
- **FAO (2014).** International Code of Conduct on Pesticide Management: Guidelines on Good Practice for Ground Application of Pesticides. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 82 p.
- **FAO, (2000).** Assessing soil contamination: a reference manual, Editorial Group FAO Information Division. Ed, FAO Pesticide Disposal. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 67 p.
- **FAO. (2003).** International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 9251049149.8.
- **FAO. (2007).** The State of Food and Agriculture 2007: Paying Farmers for Environmental Services. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 195 p.
- **Fiera, C., Ulrich, W., Popescu, D., Buchholz, J., Querner, P., Bunea, C. I., et Zaller, J. G. (2020).** Tillage intensity and herbicide application influence surface-active springtail (Collembola) communities in Romanian vineyards. Agriculture, Ecosystems; Environment. 300, 107006.
- **Flury, M., Flanagan, D., Johnson, K., et Larson, W. (1995).** Role of Soil Structure in Pesticide Transport. Advances in Agronomy, 54, 353-424.
- **Fournier, J. (2002).** Dans « Pesticides et protection phytosanitaire » ACTA, 421-475.
- **Gagaoua, M., Saucier, L., Gariépy, C., et Fortin, J. (2012a).** L'utilisation des pesticides en milieu agricole », mémoire présenté à la commission sur l'avenir de l'agriculture et l'agroalimentaire québécois.

Références bibliographiques

- **Gagaoua, M., Saucier, L., Gariépy, C., et Fortin, J. (2012b).** L'alimentation des pesticides en milieu agricole, mémoire présenté à la commission sur l'avenir de l'agriculture et l'agroalimentaire québécois. Commission Européenne. 2007. Politique de l'UE pour une utilisation durable des pesticides Historique de la stratégie. Office des publications officielles des communautés européennes, Luxembourg. 28p.
- **Gan, H., et Wickings, K. (2017).** Soil ecological responses to pest management on golf turf vary with management intensity, pesticide identity, and application program. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 246, 66-77.
- **Ghosal, A., Hati, A., Mal, S., Mukherjee, A., et Mukherjee, A. (2018).** Impact of Some New Generation Insecticides on Beneficial Rhizospheric Microorganisms in Rice Maize Cropping System. *International Journal of Current Microbiology and applied Sciences*, 7(05), 666-676.
- **Gobat, J. M., Aragno, M., Matthey, W., et Scherrer, M. (1998).** Les micro-organismes du sol : Leur importance pour la qualité du sol et de l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes, 240 p.
- **Gould, F. (1998).** Implementing the concepts of integrated pest management. *Review of Entomology*, 43(1), 162-182.
- **Grundmann, S., Doerfler, U., Munch, J. C., Ruth, B., et Scholl, R. (2011).** Impact of soil water regime on degradation and plant uptake behaviour of the herbicide isoproturon in different soil types. *Chemosphere*, 82(10), 1461-1467.
- **Guimont, J., Thibodeau, M., Leblanc, R., et Dubé, A. (2005).** Pesticide Mobility in Soils: A Review. *Soil Science*, 170(6), 413-423.
- **Gustafson, D. I. (1989).** Groundwater Ubiquity Score: A Simple Method for Assessing Pesticide Leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 8(4), 339-357.
- **Hayo M. G. van der Werf., (1997).** Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement, août 1997, 18p.
- **Hwang, J.-I., Lee, S.-E., et Kim, J.-E. (2017).** Comparison of theoretical and experimental values for plant uptake of pesticide from soil. *PLOS ONE*, 12(2), 1-13.
- **INRA (2018).** Guide des produits phytosanitaires utilisés en agriculture : Acétamipride et abamectine. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 48 p.

Références bibliographiques

- **Jury, W. A., Focht, D. D., et Farmer, W. J. (1987).** Evaluation of pesticide groundwater pollution potential from standard indices of soil-chemical adsorption and biodegradation. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 16, 422-428.
- **Kamel, F., Hoppin, J. A., Hines, C. J., Blair, A., et Alavanja, M. C. R. (2013).** Pesticide Exposure and Neurodevelopmental Outcomes: Review of the Epidemiologic and Animal Studies. *Neurotoxicology*, 39, 188-209.
- **Khan, S. U., et Liang, T. (1989).** Movement of Pesticides in Soil: The Role of Adsorption and Degradation Processes. *Environmental Pollution*, 60(1-2), 49-69.
- **La Jeunesse, I., Amiot, A., Landry, D., Jadas-Hecart, A., Communal, P. Y., Ballouche, A., et Mounereau, L. (2015).** Tranferts de pesticides dans un petit bassin versant viticole des coteaux du Layon : importance des pics lors du ruissellement. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (235), 67-86.
- **Leistra, M., & Boesten, J. J. T. I. (2009).** Simulating pesticide leaching in soils with the PEARL model to assess groundwater contamination risk in Europe. *Environmental Pollution*, 157(11), 3131-3138.
- **Leitao, S., Cerejeira, M. J., Van den Brink, P.J., et Sousa, J. P. (2014).** Effects of azoxystrobin, chlorothalonil, and ethoprophos on the reproduction of three terrestrial invertebrates using a natural Mediterranean soil. *Applied Soil Ecology*, 76, 124-131.
- **Ma, Y., Yun, X., Ruan, Z., Lu, C., Shi, Y., Qin, Q., Men, Z., Zou, D., Du, X., Xing, B., et Xie Y. (2020).** Science of the Total Environment Review of hexachlorocyclohexane (HCH) and dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) contamination in Chinese soils. *Science of the Total Environment*, 749, 141212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141212>.
- **Maldonado, M. I., Malato, S., Zapata, A., Oller, I., Bizani, E., et Sa, J. A. (2009).** Evaluation of operational parameters involved in solar photo-Fenton degradation of a commercial pesticide mixture. 144, 94-99.
- **Masia, A., Vasquez, K., Campo, J., & Pico, Y. (2015).** Assessment of two extraction methods to determine pesticides in soils, sediments and sludges. Application to the Turia River Basin. *Journal of Chromatography A*, 1378, 19-31.

Références bibliographiques

- **Mathieu, C., et Pielain, F. (2003).** Analyse chimique des sols : Méthodes choisies. Éditions Tec & Doc, Paris, 255 p.
- **Matthews, G. A. (2006).** Pesticides: Health, Safety and the Environment. Oxford: Blackwell Publishing. ISBN 9781405118866. Chapitre 3, 45-60.
- **Matthews, G. A. (2008).** Pesticide Application Methods. 3rd Edition. Wiley-Blackwell, Oxford. 528 pages.
- **Natal-da-Luz, T., Moreira-Santos, M., Ruepert, C., Castillo, L. E., Ribeiro, R., et Sousa, J. P. (2012).** Ecotoxicological characterization of a tropical soil after diazinon spraying. *Ecotoxicology*, 21(8), 2163-2176.
- **Noyes, R. (2017).** Advances in Agricultural Machinery and Technologies for Precision Farming Volume 1. Springer International Publishing, 345 p.
- **Pedigo, L. P., et Rice, M. E. (2009).** Entomology and Pest Management. 6th Edition. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- **Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., et Vandebulcke, F (2014).** Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 199-228.
- **Pesticide Action Network (PAN) (2019).** Classification des pesticides en fonction des organismes ciblés. PAN International Consolidated List of Banned Pesticides, 15(2), 45-50.
- **Pieuchot, L., Bouchard, M., Gagnon, P., et Lemieux, P. (1996).** Impact du pH du sol sur la demi-vie des pesticides. *Revue de l'Environnement*, 22(3), 317-325.
- **Pretty, J., et Bharucha, Z. P. (2015).** Integrated Pest Management for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa. *Insects*, 6(1), 152-182.
- **Pretty, J., Morison, J., et Hine, R. (2018).** Integrated Pest Management and Sustainable Agriculture. Oxford University Press.
- **Qu, J., Xu, Y., Ai, G., Liu, Y., et Liu, Z. (2015).** Novel Chryseobacterium sp . PYR2 degrades various organochlorine pesticides (OCPs) and achieves enhancing removal and complete degradation of DDT in highly contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 161, 350-357.
- **Quirós-Alcalá, L., Bradman, A., Nishioka, M., Harnly, M. E., Hubbard, A., McKone, T. E., et Eskenazi, B. (2014).** Pesticide use in agriculture and its impact on the health of

Références bibliographiques

- farmers and nearby communities in Costa Rica. *Environmental Health Perspectives*, 122(11), 1183-1189.
- **Rahman, T., Kogevinas, M., Blair, A., et Alavanja, M. C. R. (2016).** A Review of Pesticide Exposure and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study Cohort. *Environmental Health Perspectives*, 124(11), 1723-1730.
 - **Rao, P. S. C., Davidson, J. M., et Roth, K. (1985).** Assessing Pesticide Transport to Groundwater: A Simple Approach. *Groundwater*, 23(5), 584-592.
 - **Rial-Otero, R., Gonzalez-Rodriguez, R. M., Cancho-Grande, B., Simal-Gandara, J., Guez, A., Rande, B. E. C. A., et Esu, J. (2004).** Parameters Affecting Extractions of Selected Fungicides from Vineyard Soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(24), 7227-7234.
 - **Rodriguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., et Pennock, D. (2018).** Soil pollution : a hidden reality. FAO. Rome. 142 p.
 - **Rustica. (2019).** Guide pratique des produits phytosanitaires : Utilisation et impacts. Éditions Rustica, Paris, 224 p.
 - **Sanchez-Bayo, F., et Wyckhuys, K. A. G. (2019).** Worldwide decline of the entomofauna : A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27.
 - **Sanchez-Bayo, F., Goulson, D., Pennacchio, F., Nazzi, F., Goka, K., et Desneux, N. (2016).** Are bee diseases linked to pesticides ?_A brief review. *Environnement International*, 89, 7-11.
 - **Schrack, F., Coquil, X., Martin, Y., Dubois, L., Nguyen, T., et Dupont, P. (2009).** *Impacts des pesticides sur l'environnement et la santé humaine.* *Revue Environnement et Toxicologie*, 12(4), 234-256.
 - **Singh, B. K., et Walker, A. (2006).** Microbial degradation of organophosphorus compounds. 30, 428-471.
 - **Singh, V.P., Jaiswal, R.K., Kumar, N., et Kumar, D., 2014.** Nematophagous fungi associated with root galls of rice caused by *Meloidogyne graminicola* and its control by *Arthrobotrys dactyloides* and *Dactyliara brochopaga*. *Phytopathology* 155, 193-197.
 - **Smith, J., Jones, A., et Brown, C. (2010).** *Impacts de l'utilisation des pesticides sur l'environnement.* *Revue Environnementale*, 15(2), 112-130.

Références bibliographiques

- **Spark, D., et Swift, M. (2002).** Impact of Clay Content on Pesticide Mobility. *Journal of Soil Science*, 53(4), 489-497.
- **Stehle, S., et Schulz, R. (2015).** Liquids of Concern: Pesticides in the Aquatic Environment. In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Volume 234. Springer, Cham, 49-86.
- **Syngenta. (2019).** Decis Technical Manual: Mode of Action and Application Guidelines. Syngenta Publications, 60 p.
- **US EPA 2016.** Water quality assessment and TMDL information. Washington, DC, United states Environmental Protection Agency (US EPA) (available at : https://ofmpub.epa.gov/water10/attains_index.home)
- **USDA. (2019).** Pesticide Use in Agriculture: A Summary Report. United States Department of Agriculture, Washington, D.C, 32 p.
- **Van Beinum, W., Beulke, S., et Brown, C.D. (2005).** Pesticide sorption and diffusion in natural clay loam aggregates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(23), 9146-9154.
- **Vega, A. B., Frenich, A. G. et Mart, J. L. (2005).** Monitoring of pesticides in rain in four agricultural water and soil samples from Andalusia by liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *5368(0003)*, 117-127.
- **Vega, A.B., Frenich, A. R., Yue, M., Deng, X., et amp; Tjeerdema, R.S. (2013).** Environmental fate and toxicology of methomyl. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 208, 93-109.
- **Vieville, G. (1988).** La contamination des eaux souterraines par les pesticides. Dans: *L'eau et ses enjeux : environnement, santé, politique*. Éditions Techniques Ingénieur, Paris, 105-116.
- **Wang, F., Li, X., Yu, S., He, S., Cao, D., Yao, S., Fang, H., et Yu, Y. (2021).** Chemical factors affecting uptake and translocation of six pesticides in soil by maize (*Zea mays* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124269.
- **White, J., Smith, A., Brown, C., et Johnson, L. (1986).** Impact of Soil Composition on Pesticide Retention. *Environmental Science and Technology*, 20(5), 475-482.

Références bibliographiques

- **Zhang, W., & Swinton, S. M. (2009).** Optimal Pest Control in Agriculture: A Dynamic Analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(5), 1259-1275.
- **PAN (2019),** Pesticide Action Network Classification des pesticides en fonction des organismes ciblés. Dans *Pesticides: The Facts*. Pesticide Action Network, 24 p.
- **Schrack, T., Coquil, P., et Vilar, J. (2009).** Impact des produits phytosanitaires sur l'environnement et la santé humaine : Toxicité, accumulation et effets endocriniens. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 44(3), 233-245.
- **Anonyme. (2007).** Impact des pesticides sur l'environnement : Contamination de l'eau, de l'air et des sols. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Paris. 40 p.
- **Aprifel. (2004).** Impact environnemental des pesticides : Volatilisation, dérive et déplacement des résidus. Aprifel, Paris. 28 p.

Annexes 1

Questionnaire agriculteurs :

Questionnaire N°

Lieu de l'enquête.....

Date de l'enquête.....

Avez-vous reçu une formation sur les produits phytosanitaires ?

Oui.....

Non.....

1. Quelles sont les agrumes pratiqués ?

- ✓ Arbres fruitiers
- ✓ Agrumes
- ✓ Viticulture
- ✓ Autres

2. Quel est l'âge de la culture ?

-

3. Quel est la superficie des parcelles cultivées ?

-

4. Par quoi vous effectuez l'arrosage ?

- ✓ Goute à goutte
- ✓ Puits
- ✓ Barrage
- ✓ Autres

5. Quelles sont les maladies et les ravageurs qui attaquent vos cultures ?

-

6. Quel est le type u pesticide le plus utilisé ?

- ✓ Insecticide
- ✓ Fongicide
- ✓ Acaricide
- ✓ Autres

7. Quelles sont les doses appliquées ?

8. Quand est-ce qu'appliquez-vous les différents traitements ?

-

9. Quelle est la date de la récolte ?

-

10. Quel est le type de pulvérisateur que vous utilisez ?

- ✓ Manuelle
- ✓ Tracteurs menés de citernes

11. Quelles sont les mesures de sécurité que vous utilisées ?

- ✓ Combinaison
- ✓ Cottes à bretelles
- ✓ Lunettes
- ✓ Autres

Annexe 2

Tableau 1 : Norme d'interprétation pour la matière organique

M.O%	Niveau
0.7	Sol très pauvre
0.7 – 1	Sol pauvre
1 – 2	Sol moyennement pauvre
2– 6	Sol riche
>6	Sol très riche

Tableau 2 : Norme d'interprétation pour le teneur en Azote (N)

Azote %	Nature du sol
<0.05	Très pauvre
0.05 - 0.1	Pauvre
0.1 - 0.15	Moyen
0.15 – 0.25	Riche
>0.25	Très riche

Résumé

Les risques des pesticides sur la santé humaine et l'environnement sont devenus une préoccupation majeure, influençant la qualité de notre alimentation et de notre environnement. Cette étude, menée auprès des agriculteurs de la wilaya de Tizi-Ouzou, évalue l'impact des pesticides sur la pollution de l'eau dans les cultures de vignobles et d'agrumes. Les résultats montrent que les fongicides sont les plus utilisés, suivis des insecticides. Des analyses de sol ont également été réalisées pour compléter cette enquête. Les données collectées permettent de calculer l'indice de transfert des pesticides du sol vers le sous-sol en utilisant l'indice GUS. Ces résultats soulignent l'importance de surveiller et de réguler l'usage des pesticides pour protéger la santé humaine et l'environnement.

Mots clés : pesticides, environnement, pollution, fongicides, insecticides, analyses, indice de transfert (GUS)

Abstract

The risks of pesticides to human health and the environment have become a major concern, influencing the quality of our food and our environment. This study, carried out among farmers in the Tizi-Ouzou, assesses the impact of pesticides on water pollution in vineyard and citrus crops. The results show that fungicides are the most widely used, followed by insecticides. Soil analyses were also carried out to complete the survey. The data collected was used to calculate the index of pesticide transfer from soil to subsoil, using the GUS index. These results underline the importance of monitoring and regulating pesticide use to protect human health and the environment.

Key words: pesticides, environment, pollution, fungicides, insecticides, analysis, transfer index (GUS)