

*République Algérienne Démocratique et Populaire.
Ministère de l'Enseignement Supérieur 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

Thème

Evaluation du risque de transfert des pesticides vers le sous-sol dans les sols cultivés de la wilaya de Tizi Ouzou

Présenté par : LAMRANI Djamila

LARABI Sonia

Membres du jury :

Président : M^r SADOU S.

M.C.B à l'UMMTO

Promotrice : M^{me} ALI AHMED S.

M.C.B à l'UMMTO

Examinatrice : M^{me} ROUIBET BOUBKEUR O.

M.A.A à l'UMMTO

Examinatrice : M^{me} BACHI K.

M.C.B à l'UMMTO

Soutenu le 03/07/2025

REMERCIEMENTS

En introduction à ce manuscrit, nous souhaitons exprimer nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont soutenus, guidés et accompagnés tout au long de ces années, et qui ont chacune à leur manière, contribué à l'élaboration et à la réussite de ce mémoire.

Nous tenons tout d'abord à adresser notre profonde gratitude à notre promotrice, **Mme ALI AHMED S.**, Maître de Conférences au département d'Ecologie et Environnement à l'UMMTO, pour son encadrement de qualité, ses conseils précieux et son accompagnement constant. Nous lui témoignons notre reconnaissance la plus sincère pour sa disponibilité, sa patience et son soutien tout au long de ce parcours.

Nos remerciements vont également au président du jury, **Mr. SADOU S.**, Maître de Conférences au département d'Ecologie et Environnement pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'évaluer notre travail, ainsi qu'aux examinatrices **Mme ROUBET BOUBKEUR O.**, Maître Assistante et **Mme BACHI K.**, Maître de Conférences au département d'Ecologie et Environnement à l'UMMTO, pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre recherche et pour leurs remarques constructives qui contribueront sans aucun doute à l'amélioration de ce travail.

Nous exprimons également notre gratitude envers les chercheurs du laboratoire du Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural, pour leur précieuse collaboration et leur contribution à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent aussi à **Mme ALI AHMED D.**, directrice du laboratoire PSEMRVC, pour nous y avoir accueillis et permis d'y mener la partie pratique de notre étude.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement **Mme ABROUS D.**, ingénieur du laboratoire PSEMRVC de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'UMMTO pour son assistance technique et sa disponibilité tout au long de la réalisation des analyses.

Nous exprimons toute notre reconnaissance aux agriculteurs qui nous ont ouvert les portes de leurs vergers et nous ont généreusement fourni les informations nécessaires à notre enquête de terrain.

Nos remerciements vont également à l'équipe pédagogique du département d'Ecologie et Environnement de l'UMMTO, ainsi qu'à **Mme CHIBANE G.**, chef du département, pour la gestion efficace de notre formation et pour son engagement à nos côtés. Nous remercions également l'ensemble des enseignants et enseignantes qui ont contribué à notre parcours universitaire durant toutes ces années.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, ainsi qu'à nos amis et collègues de Master pour leur esprit d'entraide, leur amitié et les échanges constructifs qui ont enrichi cette expérience.

Dédicace

Je dédie ce mémoire, symbole de persévérance et de travail, à toutes les personnes qui m'accompagnent avec amour et sincérité sur le chemin de ma vie.

À ma famille,

À mon père et à ma mère, mes piliers et mes premières sources de force, pour leur amour infini, leur patience et leurs sacrifices inestimables.

À mon frère et à ma sœur, pour leur soutien, leur compréhension et leur affection constante.

À ma copine Thilelli, source de joie et de tendresse, merci pour ta présence apaisante et ton soutien précieux.

À ma très chère copine Fatima, pour ton amitié sincère et ton soutien inébranlable.

À Sonia, mon binôme et mon amie fidèle, avec qui j'ai traversé cette belle aventure, entre travail, complicité et moments inoubliables.

À mes amies Maïssa et Lydia, pour leur bienveillance, leurs encouragements et leur précieuse amitié tout au long de ce parcours.

À vous tous, je vous dédie ce mémoire avec tout mon cœur.

Merina

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. Pour leur effort et leurs sacrifices durant toute ma vie.

A mes chers grands parents, qui m'ont élevé avec amour et tendresse. Je vous remercie pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A ma famille, qui m'a toujours entouré d'amour et de soutien. Mes chers oncles qui m'ont offert leur soutien et leur amour inconditionnel, mes tantes, mes cousins et cousines.

A mes chers sœurs, Sandra, Lamia, Samira, Mina et Maya, qui ont toujours été là pour moi.

A mes chères Amies, Fatima, Lydia, Maya, Thilleli et Maissa qui ont partagé avec moi les joies et les difficultés de mes jours d'études. Nous avons partagé des moments inoubliables et votre amitié m'a été précieuse. Et à Razika, mon amie d'enfance, même si la distance nous sépare, tu es toujours dans mon cœur.

A mon binôme et chère amie Merina, qui a partagé avec moi les joies et les difficultés de ce parcours, je dédie ce mémoire. Ton soutien, ta confiance et ton amitié m'ont été précieux.

Ce mémoire est un témoignage de notre travail et de notre persévérance. Je l'offre à tous ce qui m'ont aidé à atteindre mes objectifs et qui croient en moi.

Sonia

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1. Définition des pesticides	3
2. Composition d'un pesticide	3
2.1 Matière active.....	3
2.2 Adjuvants.....	3
3. Classification des pesticides	4
3.1 Selon des espèces nuisibles ciblées.....	4
3.2 Selon leur composition chimique.....	5
3.3 Selon leur usage.....	6
3.4 Selon leur toxicité.....	7
3.5 Selon le mode d'action.....	8
4. Impacts des pesticides	8
4.1 Effets sur la faune.....	9
4.2 Effets sur la flore.....	9
4.3 Effets sur l'homme.....	9
5. Mécanismes de transfert des pesticides	10
5.1 Transfert vers l'atmosphère.....	11
5.2 Transfert vers les eaux de surface.....	11
5.3 Transfert vers les eaux souterraines.....	11
5.4 Modèles d'évaluation du risque de contamination de la nappe phréatique.....	12

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

1. Situation géographique	14
1.1 Mekla.....	14
1.2 Tacift Ait khellili.....	15
2. Méthodologie de travail	15
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.....	23

Chapitre 3 : Résultats et discussion

1. Résultats.....	25
1.1 Résultats de l'enquête.....	25
1.2 Caractérisation des sols.....	26
1.2.1 Détermination du potentiel d'hydrogène.....	26
1.2.2 Mesure de la conductivité électrique.....	27
1.2.3 Granulométrie.....	28
1.2.4 Calcaire total.....	28
1.2.5 Calcaire actif.....	29
1.2.6 Teneur en azote total.....	30
1.2.7 Matière organique.....	30
1.2.8 Mesure de rapport C/N.....	31
1.3 Evaluation du risque de pollution de la nappe phréatique par les pesticides.....	32
2. Discussion.....	33
Conclusion.....	36

Références bibliographiques

Liste des abréviations

OC	Organochlorés
OP	Organophosphorés
C	Carbamates
P	Pyréthriñoïdes
N	Néonicotinoïdes
OA	Organo—azotés
U	Urées
P	Phénoxyalcanoïque
AChE	Acétylcholinestérase
2,4-D	Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique
2,4-MCPA	2,4-Méthylchlorophénoxyacétique
SGH	Système Général Harmonisé
TCA	Trichloroacétate
DDT	Dichloro diphényl trichloroéthane
DL₅₀	Dose létale pour 50% de rat en mg/kg de poids corporel vif
COT	Carbone Organique Total
MO	Matière Organique
MA	Matière Active
CE	Conductivité Electrique
BNEDER	Bureau National d'étude pour le Développement Rurale

Liste des figures

Figure 1 : Modes d'exposition de l'homme et des milieux par les pesticides.....	10
Figure 2 : Localisation géographique de Mekla.....	14
Figure 3 : Localisation géographique de Tacift Ait Khelili.....	15
Figure 4 : Etapes de la préparation des échantillons du sol.....	17
Figure 5 : Etapes de mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	18
Figure 6 : Etapes de mesure de la conductivité électrique (CE).....	19
Figure 7 : Etapes de mesure de granulométrie.....	20
Figure 8 : Etapes de mesure du calcaire total.....	20
Figure 9 : Etapes de mesure du calcaire actif.....	21
Figure 10 : Etapes de mesure de l'azote total.....	22
Figure 11 : Etapes de mesure du carbone organique total.....	23
Figure 12 : Résultats du pH des sols des deux sites étudiés.....	27
Figure 13 : Résultats de la conductivité électrique des sols des deux sites étudiés.....	27
Figure 14 : Résultats de l'analyse granulométrique des sols des deux sites étudiés.....	28
Figure 15 : Résultats du calcaire total des sols des deux sites étudiés.....	29
Figure 16 : Résultats du calcaire actif des sols des deux sites étudiés.....	29
Figure 17 : Résultats de la teneur des sols des deux sites étudiés en azote total.....	30
Figure 18 : Résultat du carbone organique total des sols des deux sites étudiés.....	31
Figure 19 : Résultats du rapport C/N des sols des deux sites étudiés.....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Types de pesticides en fonction des organismes nuisibles ciblés.....	4
Tableau 2 : Classification des pesticides en fonction des principales familles chimiques..	5
Tableau 3 : Classification des pesticides en fonction de leur toxicité	7
Tableau 4 : Résultats de l'enquête de terrain.....	26
Tableau 5 : Indice de transfert des pesticides vers l'eau du sous-sols	32

Introduction

La croissance rapide de la population mondiale exerce une pression accrue sur les ressources naturelles, en particulier les terres agricoles. Pour répondre aux besoins alimentaires croissants, l'agriculture intensive est fréquemment adoptée, impliquant un recours important aux pesticides afin d'optimiser les rendements FAO (2019).

La FAO estime que ces maladies et ravageurs réduisent de 40 % les récoltes mondiales chaque année. L'usage de pesticides a donc été considéré comme un moyen permettant de sécuriser la production agricole, en diminuant le risque de forte perte de rendement ou de mauvaise conservation.

Leur utilisation doit permettre d'améliorer le rendement et la qualité des cultures en réduisant les pertes causées par les organismes nuisibles. Ils sont aussi appelés produits de protection des plantes ou produits phytosanitaires FAO (2019).

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 (Anonyme, 2013).

En agriculture, les pesticides se divisent en plusieurs catégories selon les organismes ciblés. Les plus utilisés sont les herbicides, qui éliminent les plantes indésirables, les fongicides, qui combattent les champignons, et les insecticides, qui visent les insectes nuisibles. Leur efficacité repose sur des substances actives qui agissent chimiquement sur le métabolisme des parasites ou des plantes ciblées, provoquant leur mort. Certaines substances sont très spécifiques, n'affectant que certaines espèces, tandis que d'autres, comme le glyphosate, ont un spectre plus large et détruisent toutes les plantes ; on parle alors d'herbicides totaux. Ces substances peuvent être d'origine chimique ou naturelle (Anonyme, 2012).

Aujourd'hui, plus de 800 substances actives sont disponibles sur le marché et la consommation mondiale de pesticides en agriculture dépasse les 3 millions de tonnes par an (FAO, 2019).

Les pesticides de synthèse se sont diffusés largement dans les agricultures d'Europe et d'Amérique du Nord à partir de la seconde moitié du XXe siècle. Leur usage croissant est allé de pair avec la spécialisation des fermes, la mécanisation, l'utilisation des engrais chimiques et la sélection génétique, formant ainsi les bases techniques de la révolution verte (Mazoyer et Roudart, 2002).

L'Algérie figure parmi les pays africains ayant l'un des taux les plus élevés d'utilisation de pesticides. Avec le développement intensif de l'agriculture, le recours à ces substances connaît une forte augmentation dans plusieurs secteurs. On recense environ 400 produits phytosanitaires homologués en Algérie, parmi lesquels une quarantaine est couramment employée par les agriculteurs (Bordjiba et Ketif, 2009).

Bien que les pesticides offrent des avantages indéniables pour la protection des cultures, leur usage présente également des risques pour l'environnement et la santé humaine. Des traces de ces produits ont été détectées dans les puits et les nappes phréatiques, qui constituent des sources d'eau potable pour de nombreuses régions du pays (Cotton, J., 2015).

En Algérie, la question de la mobilité des pesticides et de leur transfert vers les nappes phréatiques reste peu explorée. Quelques études locales ont toutefois été réalisées. En 2023, Ramdani et Mimoun ont mené une enquête dans les communes de Tizi-Rached, Draa-El-Mizan, Bouzeguène et Ouadhia, tandis que Ferhat et Merbah ont effectué des recherches au niveau d'Oued Falli, Draa-El-Mizan et Draa Ben Khedda, dans la wilaya de Tizi Ouzou, afin d'évaluer le risque de contamination des nappes phréatiques, en 2023.

Plus récemment, en 2024, Hammadou et Kabi ont étudié le risque de transfert des pesticides dans les régions de Taboukert, Chamlal et Chaoufa, apportant ainsi de nouvelles données sur cette problématique dans d'autres zones agricoles du pays.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, qui a pour objectif d'évaluer le risque de transfert des pesticides vers les eaux souterraines dans les sols cultivés de la wilaya de Tizi Ouzou, en se concentrant sur deux régions distinctes : Mekla et Thacift Aït Khellili. Une enquête de terrain sera menée afin de recueillir des informations sur l'utilisation des pesticides et leurs propriétés physico-chimiques. Par la suite, une analyse des sols sera réalisée, car la mobilité des pesticides dépend à la fois de leurs caractéristiques spécifiques et des propriétés du sol. Le risque de transfert des pesticides vers la nappe sera enfin évalué.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier présente une revue bibliographique sur les pesticides et les différents mécanismes de leur transfert du sol vers les eaux souterraines. Le deuxième chapitre décrit les sites d'étude, les méthodes adoptées dans la partie pratique de cette étude, ainsi que la méthode mathématique permettant d'évaluer le risque de contamination des nappes. Le troisième chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus. Enfin, une conclusion générale viendra clore ce travail.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

1. Définition des pesticides

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

Les produits agro-pharmaceutiques ou phytosanitaires sont désignés par différents termes : produits anti-parasitaires, produits phytosanitaires à usage agricoles pour les juristes et toxicologues, et pesticides pour le grand public (Fournier, 1988).

Les pesticides peuvent agir sur les ravageurs et sur les micro-organismes par le contact direct, l'ingestion ou par d'autres sortes d'exposition effective pendant les phases de croissance. Les produits d'origine végétale peuvent être protégés pendant les phases de conservation, d'entreposage, de transport, de distribution et de traitement. Les produits peuvent concerner des cultures, des produits récoltés, des denrées agricoles ou des aliments pour animaux (Boland et al., 2004).

L'OMS et la FAO définissent les pesticides comme « toute substance ou association de substances chimiques ou biologiques destinée à agir comme régulateur de croissance des plantes », tel que stipulé dans le Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides.

2. Composition d'un pesticide

D'après (Boland, et al., 2004), les pesticides se composent de :

2.1 Matière active : c'est la substance principale d'un pesticide, elle agit directement sur l'espèce nuisible ciblée.

2.2 Adjuvants : la matière active ne peut pas être efficace seule. Les adjuvants sont utilisés pour renforcer son efficacité.

Le solvant : permet de dissoudre la matière active lorsqu'elle n'est pas soluble dans l'eau, facilitant ainsi son application.

Emulsifiant : aide à la dilution homogène des produits concentrés, tandis que les agents mouillants assurent un bon étalement des gouttelettes sur les surfaces végétales, améliorant ainsi le contact avec la plante.

Les substances porteuses : utilisées dans les formulations solides, permettent de stabiliser et de transporter la matière active.

Agent dispersant : favorise une répartition uniforme de la poudre dans l'eau, évitant les amas.

Le colorant : quant à lui, joue un rôle de sécurité en distinguant les zones traitées des non traitées.

Synergiste : accroît l'efficacité de la matière active en renforçant son action chimique. Ensemble, ces composants optimisent la performance et la sécurité des traitements.

3. Classification des pesticides

Les pesticides peuvent être classés de différentes manières en fonction de leurs propriétés et de leurs utilisations. On a :

3.1 Selon les espèces nuisibles ciblés

Les pesticides sont regroupés généralement en trois grandes familles, qui sont, les insecticides, les herbicides et les fongicides. D'autres pesticides sont spécifiques tels que : les acaricides, les avicides, les bactéricides, les corvicides, les molluscicides, les nématicides, les rodenticides, etc (Tableau 1).

Tableau 1 : types des pesticides en fonction des organismes nuisibles ciblés (Boland et al., 2007).

Type de pesticide	Organismes ciblés	Exemple de cibles
Fongicides	Champignons	<i>Diplocarpon rosae</i> causant la tâche noire du rosier, <i>Plucciniastrum epilobii</i> causant la rouille du sapin, <i>Venturia inaequalis</i> causant la tavelure du pommier
Herbicides	Herbes adventives	Chénopode, chiendent, herbe à la puce, plantain
Insecticides	Insectes	Blatte, doryphore de la pomme de terre, punaise velue, tordeuse des bourgeons de l'épinette
Bactéricides	Bactéries	Bactéries
Corvicides	Les oiseaux ravageurs	Corbeau
Molluscicides	Mollusques	Escargots, limaces
Nématicides	Nématodes	<i>Meloidogyne halpa</i> causant la nodosité des racines chez la carotte
Rodenticides	Rongeurs	Rat souris

3.2 Selon leur composition chimique

Le deuxième système de classification est basé sur la composition chimique de la substance active principale qui constitue les produits phytosanitaires (Tableau2).

Tableau 2 : classification des pesticides en fonction des principales familles chimiques

Famille chimique	Définition	Exemple	Source
Les organochlorés (OC)	Substances chimiques dont les molécules renferment au moins une liaison carbone-chlore. Se distinguent par leur grande résistance à la dégradation biologique, chimique et photolytique, ainsi que par leur toxicité et leur suspension à s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Soumis en général à des réglementations strictes dans plusieurs pays à travers le monde.	-Insecticides (DDT, aldrine, dieldrine, toxaphène, chlordane, heptachlore). -Fongicide (hexachlorobenzène, captan). -Herbicides (chlorbufam, mécoprop, dichlorprop).	(Coly, 2000) (FAO/OMS, 2002) (Rusiecki et al., 2005; Stellman et al., 1998)
Les organophosphorés (OP)	Substances chimiques toxiques largement utilisées en agriculture pour lutter contre les insectes nuisibles (Diatta et al., 2021). Très utilisés pour la protection des cultures. Toxicité élevée responsable de près de 100 000 décès par an dans le monde.	-Parathion méthyle -Parathion éthyle -Malathion -Phorates -Foséthyl-Al -Diazinon	(Diatta et al., 2021) (Testud, 2007)
Les carbamates (C)	Substances largement utilisées à travers le monde pour lutter contre les insectes, les champignons, les mauvaises herbes et comme régulateurs de croissance. Agissent en bloquant la transmission de l'influx nerveux chez les insectes en inhibant l'enzyme (AChE).	-Carbaryl -Methomyl -Propoxur -Chlorprophame -Propamocarbe, etc.	(Himel et al., 1990)

Les pyréthri-noïdes (P)	Insecticides de synthèse. Dérivés des pyréthrines, provenant des fleurs du pyrèthre. Stables à la lumière, efficaces à faible dose sur une grande variété d'insectes. Toxicité aiguë relativement faible pour l'homme, écologiquement nuisibles, surtout pour les abeilles et certains organismes aquatiques.	-Allethrine -Fluméthrine -Deltaméthrine -Cyperméthrine, etc.	(Ware & Whitacre, 2004) (Coly, 2000)
Néonicotinoïdes (N)	Composés synthétiques hautement toxiques. Structure proche de celle de la nicotine. Agissent sur le système nerveux central des insectes. Catégorie d'insecticide la plus répandue à l'échelle mondiale. Employée pour combattre les insectes qui piquent et sucent, ainsi que certains coléoptères et lépidoptères.	-Acétamipride -Nitempyram, etc.	(Elbert et al., 2008)
Les organo- azotés (OA)	Principalement utilisés comme herbicides, repérable par le suffixe « zine ». Constitué d'un cycle aromatique avec trois carbones et trois azotes.	-Atrazine -Simazine -Terbuthylazine, etc.	https://theses.hal.science/tel-04224004v1
Les urées (U)	Utilisées comme herbicides et fongicides, repérables par le suffixe « uron »	-Diuron -Isoproturon...etc.	
Les phénoxyalcanoïques (P)	Utilisées comme herbicides	-2,4-D ; 2,4-MCPA	

3.3 Selon leur usage

Les pesticides sont utilisés dans divers domaines pour lutter contre les organismes nuisibles. On distingue six catégories de pesticides selon leur usage (Calvet, 2005).

Agriculture : on utilise des insecticides-acaricides, des fongicides et des herbicides afin de préserver les cultures et les sols des ravageurs, maladies et mauvaises herbes.

Elevage : les insecticides et bactéricides permettent de maintenir la propreté et la salubrité des bâtiments d'élevage.

Stockage des produits végétaux : des insecticides et fongicides sont employés afin de protéger les récoltes contre les infestations et la moisissure.

Zones non agricoles : comme les routes, les aéroports ou les sites industriels, les herbicides servent au désherbage et à l'entretien des surfaces.

Habitations : sont également concernées, avec l'utilisation d'insecticides, rodenticides, bactéricides et fongicides pour lutter contre les nuisibles et assurer un environnement sain.

Hygiène humaine et vétérinaire : ces produits jouent un rôle crucial dans la prévention des maladies en éliminant insectes et champignons nuisibles.

3.4 Selon leur toxicité

L'OMS a remplacé son ancien système de classification des pesticides par le Système Général Harmonisé (SGH), qui classe les produits selon leur toxicité aiguë (Tableau 3). Ce changement suit une résolution de 1975 visant à adapter la classification aux besoins internationaux. Le SGH est un système mondialement accepté, issu de consultations internationales (OMS, 2019).

Tableau 3 : classification des pesticides en fonction de leur toxicité (OMS, 2019)

Classes de dangerosité de la matière active		Dl ₅₀ pour le rat (mg/kg de poids corporel)	
		Voie orale	Voie Dermique
Ia	Extrêmement dangereux	< 5	< 50
Ib	Très dangereux	5 à 50	50 à 200
II	Modérément dangereux	50 à 2000	200 à 2000
III	Légèrement dangereux	Plus de 2000	Plus de 2000
U	Peu susceptible de présenter un danger aiguë	5000 ou plus	5000 ou plus

3.5 Selon leur mode d'action

La classification des pesticides selon leur mode d'action repose sur la manière dont ils agissent sur les organismes cibles pour provoquer leur destruction ou inhibition. On a :

3.5.1 Inhalation : Les pesticides, comme les fumigants, le tétrachlorure de carbone et la phosphine, affectent la respiration ou le système respiratoire en bloquant le transport des électrons dans les mitochondries (Mehda, 2022).

3.5.2 Par contact : Les pesticides de contact agissent directement sur les organismes nuisibles lorsqu'ils entrent en contact avec la substance active. Ils ne pénètrent pas dans la plante ou l'insecte, mais provoquent leur destruction par contact direct ou en recouvrant leur surface. Les herbicides de contact détruisent uniquement les parties des mauvaises herbes atteintes par le produit, tandis que les insecticides de contact tuent les insectes lorsqu'ils sont pulvérisés ou lorsqu'ils se déplacent sur une surface traitée (Garud, A., Patil, S., & Bhagat, P. (2024).

3.5.3 Ingestion : Les pesticides, disponibles sous forme de poudres ou de granulés, ciblent le système nerveux des insectes, en particulier ceux qui se nourrissent de sève ou qui piquent. Ils agissent de manière endothérapeutique et systémique, affectant les synapses, les neurotransmetteurs et la transmission axonale, et inhibent l'alimentation des insectes (Mehda, 2020).

3.5.4 Produits systémiques : Un produit phytopharmaceutique dont les substances actives pénètrent et migrent à l'intérieur de la plante, agissant après avoir été transporté par la sève. Ces produits, qui ont une action plus lente mais plus durable, doivent être hydrosolubles. Une fois arrivé sur le site d'action, le produit atteint un récepteur où il exerce son action toxique (Fillatre, 2011).

4. Impact des pesticides

L'utilisation intensive des pesticides en agriculture a des conséquences majeures sur l'environnement et la santé humaine. Ces substances chimiques peuvent contaminer les sols, les eaux souterraines et les cours d'eau, provoquant la dégradation des écosystèmes aquatiques et terrestres et une diminution de la biodiversité. De plus, les pesticides peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire, exposant les populations humaines à divers risques sanitaires tels

que des troubles neurologiques, des cancers ou encore des perturbations endocriniennes (Pathak et al., 2022 ; European Environment Agency, 2023).

4.1 Effets sur la faune

Les pesticides, en particulier les organophosphorés, ont un impact majeur sur la faune, causant des intoxications aiguës et réduisant la diversité des invertébrés (Ramade, 1979). Cela affecte indirectement les oiseaux en diminuant leurs sources de nourriture. Les insecticides à large spectre, comme les carbamates, les organophosphorés et les pyréthroïdes, peuvent entraîner le déclin des insectes bénéfiques, tels que les abeilles. Les animaux absorbent les pesticides par l'alimentation, l'eau, l'air ou la peau, ce qui peut provoquer des effets toxiques, notamment une baisse de la fertilité chez les mammifères. L'intoxication sublétales des oiseaux par les organophosphorés peut également modifier leur comportement (Isenring, 2010).

4.2 Effets sur la flore

Les herbicides sont particulièrement nocifs pour la flore non cultivée, affectant également les communautés microbiennes et contribuent potentiellement à la disparition des lichens. Les pesticides, comme le TCA (Trichloroacétate), peuvent causer le dépérissement des forêts, avec des concentrations élevées dans les sols. Les herbicides modifient les habitats en altérant la structure de la végétation, ce qui peut entraîner une diminution de la population (Isenring, 2010).

4.3 Effets sur l'homme

Plusieurs études ont révélé que l'exposition aux pesticides peut entraîner des affections dermatologiques, gastro-intestinales, neurologiques et respiratoires, ainsi que des effets cancérigènes et des perturbations des systèmes reproducteur et endocrinien (Thakur et al., 2014; Nicolopoulou-Stamati et al., 2016).

L'exposition humaine aux pesticides peut se produire par inhalation, contact cutané ou ingestion. Cette exposition est particulièrement étudiée chez les professionnels agricoles, notamment dans les pays du Sud, en raison des pratiques d'utilisation et de la proximité avec les produits phytosanitaires (Rohlman et al., 2016).

4.3.1 Toxicité aiguë : résultante d'une exposition à court terme à une forte dose de pesticides, provoque des effets immédiats. Les effets aigus sont souvent liés à une mauvaise utilisation, à des accidents ou à des intoxications volontaires. Une mauvaise manipulation est une cause majeure d'intoxication. Les pesticides peuvent être métabolisés, excrétés, ou stockés dans les tissus humains ou animaux (Nicolopoulou-Stamati et al., 2016).

4.3.2 Toxicité chronique : résulte d'une exposition prolongée, même à faibles doses, conduisant à une accumulation progressive des substances dans l'organisme, jusqu'à des niveaux toxiques (figure 1).

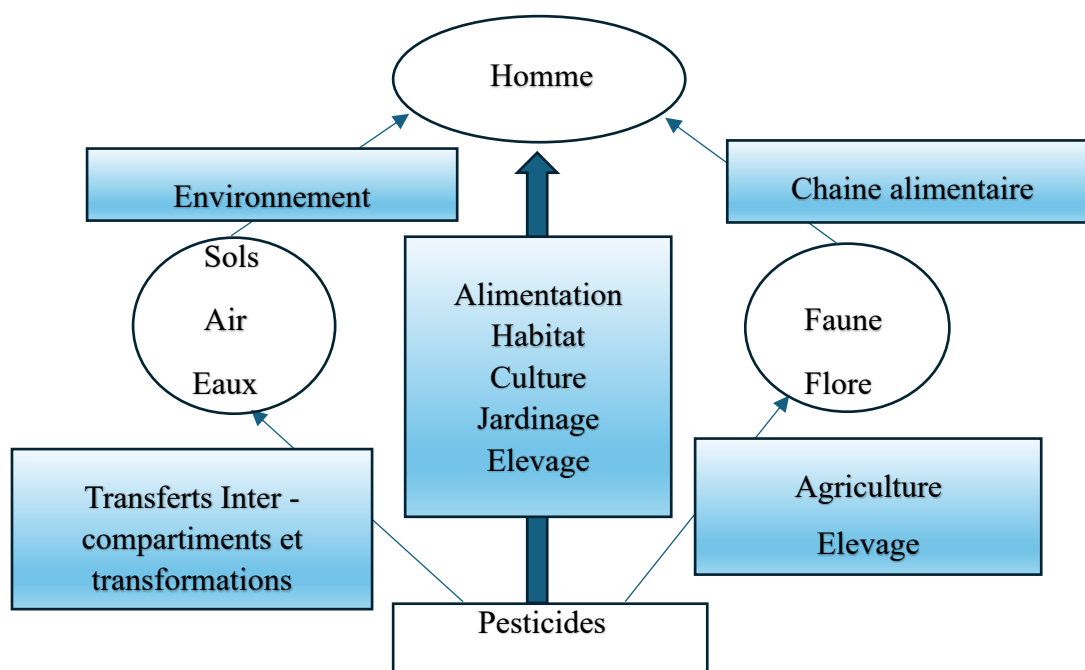


Figure 1 : Modes d'exposition de l'homme et des milieux par les pesticides (CPP, 2002)

5. Mécanismes de transfert des pesticides

Plusieurs mécanismes influencent la concentration des pesticides dans les eaux souterraines. Après l'application, la dérive, la volatilisation et la photolyse peuvent réduire la dose de ces substances dans le sol. Durant le transfert, la sorption, la dégradation et l'absorption par les plantes peuvent minimiser les flux. Dans la zone non saturée, la sorption et la dégradation peuvent persister. Enfin, dans le milieu saturé, la dilution, la sorption et la dégradation peuvent intervenir (Mouvet & Baran, 2005, Calvet et al, 2005).

5.1 Transfert vers l'atmosphère

La volatilisation, souvent liée à la remobilisation du produit du sol vers l'atmosphère, peut aussi survenir dès l'application, notamment par pulvérisation, où des aérosols sont formés et transportés (spray-drift) (Jury et al., 1987). L'érosion éolienne peut également déplacer des particules de sol contaminées.

5.2 Transfert vers les eaux de surface

Les pluies excédentaires atteignent les eaux de surface via trois mécanismes : le ruissellement, les écoulements latéraux sous la surface dus à une faible perméabilité du sol (liée à un substrat imperméable ou une semelle de labour), et le drainage agricole. Cette contamination est variable dans l'espace et le temps, influencée par la perméabilité du sol, la pente et le travail du sol.

5.3 Transfert vers les eaux souterraines

De nombreuses études ont mis en évidence la présence de pesticides dans les eaux souterraines. Ce transfert résulte de plusieurs mécanismes, influencés par les propriétés physico-chimiques des pesticides, la nature des sols, ainsi que les conditions climatiques (Beigel et Di Pietro, 1999).

5.3.1 Lixiviation : Ce processus intervient en zone non saturée et permet la migration des pesticides vers les nappes phréatiques lors de l'infiltration de l'eau. L'ampleur de cette migration dépend de l'équilibre entre infiltration et ruissellement : plus le ruissellement est important, moins la lixiviation est significative, et inversement. Les caractéristiques des sols jouent un rôle essentiel dans ce phénomène, ce qui explique les variations de concentrations observées même entre des piézomètres proches (Calvet et al, 2005).

5.3.2 Transport particulaire : Les pesticides peuvent également migrer en étant fixés sur des particules colloïdales, qu'elles soient d'origine minérale ou organique. Des composés comme les substances humiques ou les lixiviats de décharges ont la capacité de complexer ces molécules, augmentant ainsi leur solubilité apparente dans l'eau. C'est par ce biais que la mobilité du DDT, pourtant hydrophobe, a pu être observée (Enfield et Yates, 1990). De manière générale, la présence de colloïdes organiques dans les aquifères sableux pourrait expliquer une partie des transferts de pesticides vers les eaux souterraines.

5.4 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 diffèrent selon les régions et les pays, ainsi que les caractéristiques des substances chimiques étudiées (Albinet et Margat 1970).

5.4.1 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 sols, les conditions météorologiques et les méthodes d'agriculture.

5.4.2 Pesticide Root Zone Model (PRZM) :

Le modèle PRZM est un modèle de transfert des 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.

5.4.3 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.

5.4.4 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.

5.4.5 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.

5.4.6 Modèle Vulpest :

C'est une méthode d'évaluation probabiliste de la vulnérabilité des eaux souterraines. Il est basé sur la simulation du transport des pesticides dans la zone non saturée du sol. Il a été appliqué sur un site agricole du Québec présentant une contamination des eaux souterraines par le pesticide Aldicarbe (<https://doi.org/10.2166/wqrj.1989.009>).

5.4.7 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 II

Matériel et méthodes

Dans le cadre de l'évaluation du risque de transfert des pesticides vers les sous-sols dans les sols cultivés de la wilaya de Tizi Ouzou nous avons mené une enquête dans deux régions distinctes : Mekla et Tacift Ait Khelili. Cette étude vise à évaluer les pratiques agricoles et les facteurs environnementaux qui influencent le risque de contamination des eaux souterraines par les pesticides dans ces régions.

1. Situation géographique des sites d'échantillonnage

1.1 Mekla

Mekla est une commune de la wilaya de Tizi Ouzou en Algérie, elle est située à 24 Km de Tizi Ouzou. Elle est bordée par la commune de Freha et d'Azazga. A l'Est, elle est limitée par les communes d'Ait Yahia, Ain-Hammam. A l'Ouest, elle est bordée par les communes de Larbaa-Nath-Irathen, Tizi Rached et Ait Oumalou.

Selon DSA (2025), la superficie totale de la culture de pomme de terre est 66ha et la superficie de la parcelle Mekla est 30ha. La parcelle où l'échantillonnage du sol a été réalisé possède une superficie de 30 ha, aux coordonnées géographiques 36°42'46.8"N 4°15'18.6"E.

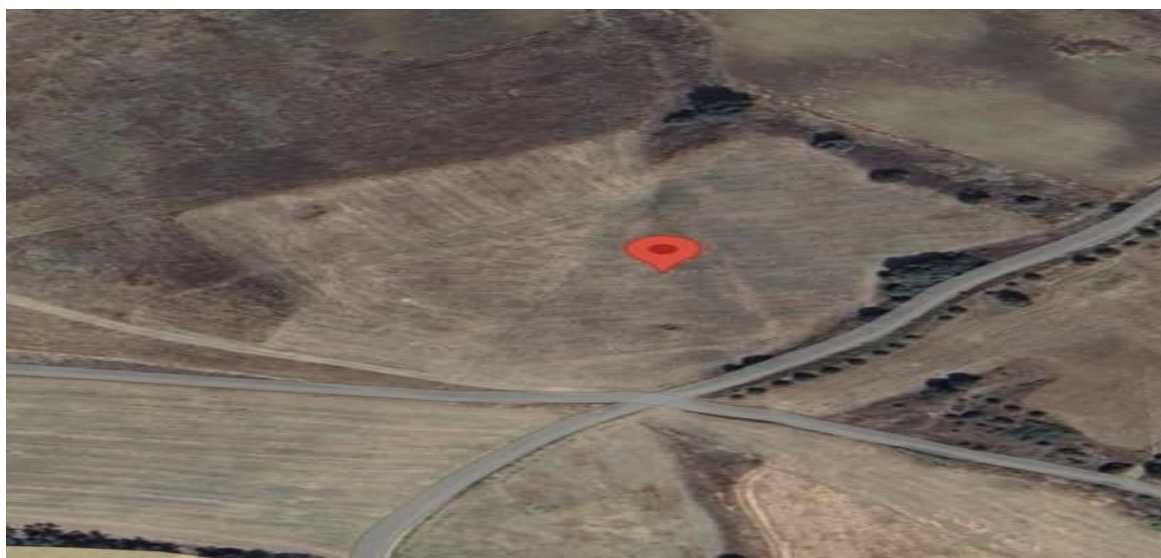


Figure 2 : Localisation géographique de Mekla (Google maps, 2025)

1.2 Tacift Ait Khelili

Est une commune de la wilaya de Tizi Ouzou, dans la région de Kabylie en Algérie. Le chef-lieu de la commune est situé dans le village de Tandlest.

Selon DSA (2025), la superficie de la daïra de Mekla est 935ha et la superficie de la parcelle Tacift Ait Khelili est 55ha. La parcelle où l'échantillonnage du sol a été réalisé possède une superficie de 12 ha de blé tendre et 13 ha de blé dure, aux coordonnées géographiques 36°42'46.8"N 4°19'24.6"E.



Figure 3 : localisation géographique de Tacift Ait Khelili (Google maps, 2025)

2. Méthodologie de travail

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude se décline en trois étapes : une enquête de terrain, la caractérisation des sols des deux régions étudiées, ainsi que le calcul du risque de transfert des pesticides vers les eaux souterraines.

2.1 Enquête de terrain

Nous avons mené notre enquête dans deux parcelles cultivées avec deux espèces différentes est situées dans la wilaya de Tizi Ouzou. À l'aide d'un questionnaire composé de 09 questions (annexe 1), nous avons recueilli des informations sur les types de cultures pratiquée, l'âge de la culture, historique des cultures, ainsi que les maladies et ravageurs les affectant, les types de pesticides utilisés, fréquence et périodes de traitement, etc. Notre enquête a été effectuée le 9 avril 2025 avec une seule sortie où nous avons pu entrer en contact avec 2 agriculteurs.

2.2 Caractérisation des sols

2.2.1 Echantillonnage

Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté une méthode d'échantillonnage en diagonale sur chaque parcelle. Cinq points d'échantillonnage ont été choisis le long de cette diagonale, à une profondeur de 10 cm. Les échantillons prélevés à ces différents points ont été homogénéisés afin d'obtenir un échantillon composite représentatif de chaque parcelle. Les échantillons ainsi constitués ont été placés dans des sacs en plastiques étiquetés, puis acheminés au laboratoire pour préparation et analyse.

2.2.2 Préparation du sol

Les échantillons ont été transférés au BNEDER « Bureau National d'Etude pour le Développement Rurale » pour analyse, le 30/04/2025. A leur arrivée, ils ont d'abord été codifiés puis tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm afin d'assurer une granulométrie homogène conforme aux exigences analytiques. Chaque échantillon a été placé dans deux gobelets distincts, soigneusement étiquetés : DX15-1, tandis que le second, DX15-2 (fig.4). Après le broyage, les échantillons ont été directement transférés au laboratoire d'analyses pour subir les traitements nécessaires selon les protocoles en vigueur.



Figure 4 : Etapes de la préparation des échantillons du sol.

2.2.3 Analyse physico-chimique

Dans le cadre de notre projet de recherche, nous avons mené une série d'analyses physico-chimiques au niveau du laboratoire du BNEDER. Ces analyses ont porté sur des échantillons de sol DX15 1 et DX15 2. Nous avons déterminé plusieurs paramètres clés, notamment le pH, la conductivité électrique (CE), la granulométrie, le calcaire total et actif, l'azote total et le carbone organique total. Ces analyses nous ont permis d'évaluer quelques propriétés chimiques et physiques des sols étudiés et de mieux comprendre leur fertilité et leur potentiel pour ces cultures spécifiques ainsi que le comportement des pesticides.

Les analyses physico-chimiques des échantillons de sol DX15 1 et DX15 2 ont été réalisées selon les protocoles standardisés de Jackson (1967), ORSTOM (1973), Baize (2000), ISRIC (1987), Black (1987), Black (1965) et Klute (1986).

2.2.3.1 pH : NF ISO 10390 (X 31-107)

La mesure du pH permet de caractériser la réaction du sol traduit l'état d'acidité ou d'alcalinité du sol. Le pH est mesuré par la méthode de mesure du pH du sol au rapport sol/eau 1/5. Nous avons préparé six flacons en polyéthylène en pesant 20 grammes de sol pour chaque

échantillons DX15 1 et DX15 2, avec trois répétitions pour chaque échantillon. Nous avons ensuite ajouté 100 ml d'eau distillée à chaque flacon et avons soumis les mélanges à une agitation mécanique pendant 30 minutes. Après agitation, nous avons laissé les suspensions décanter pendant une nuit. Le lendemain, nous avons étalonné le pH-mètre avec des solutions d'étalonnage à pH4, pH 7 et pH 9. Ensuite, nous avons agité la suspension à la main, mesuré le pH en plongeant l'électrode dans la suspension. La valeur du pH du sol est lue sur le pH-mètre (fig.4).

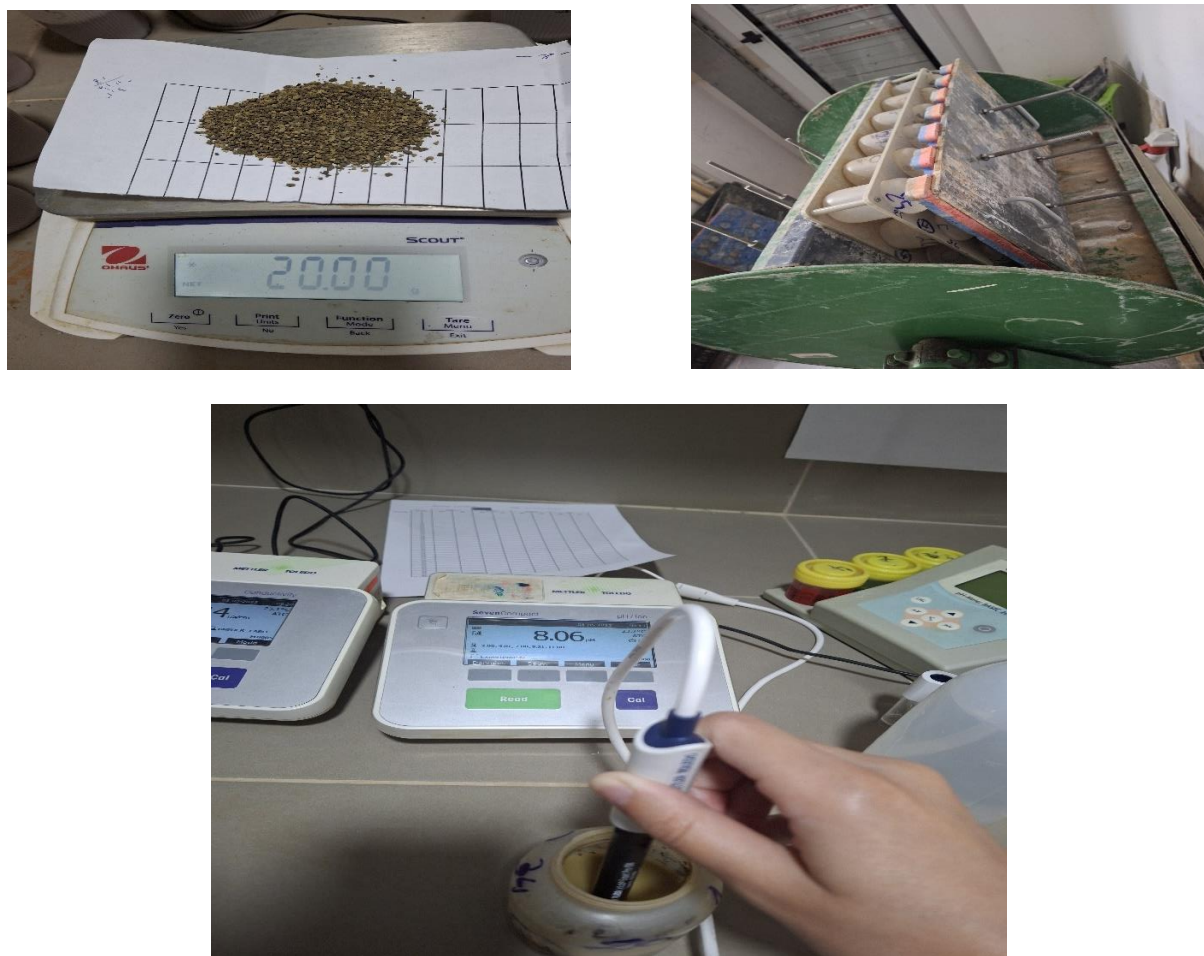


Figure 5 : Etapes de mesure de potentiel d'hydrogène (pH)

2.2.3.2 Conductivité électrique (CE) : AFNOR NF ISO 10-970

La conductivité électrique (CE) est une mesure de la capacité d'un matériau à conduire l'électricité. Nous avons mesuré la conductivité électrique (CE) des échantillons de sol DX15 1 et DX15 2 en utilisant la méthode au rapport sol/eau de 1/5, simultanément avec les mesures de pH. Les températures relevées lors des mesures étaient de 22,9°C pour DX15 1 et 23°C pour DX15 2. Les résultats de conductivité électrique ont été lus sur le conductimètre et exprimés en mmhos/cm (fig.6).

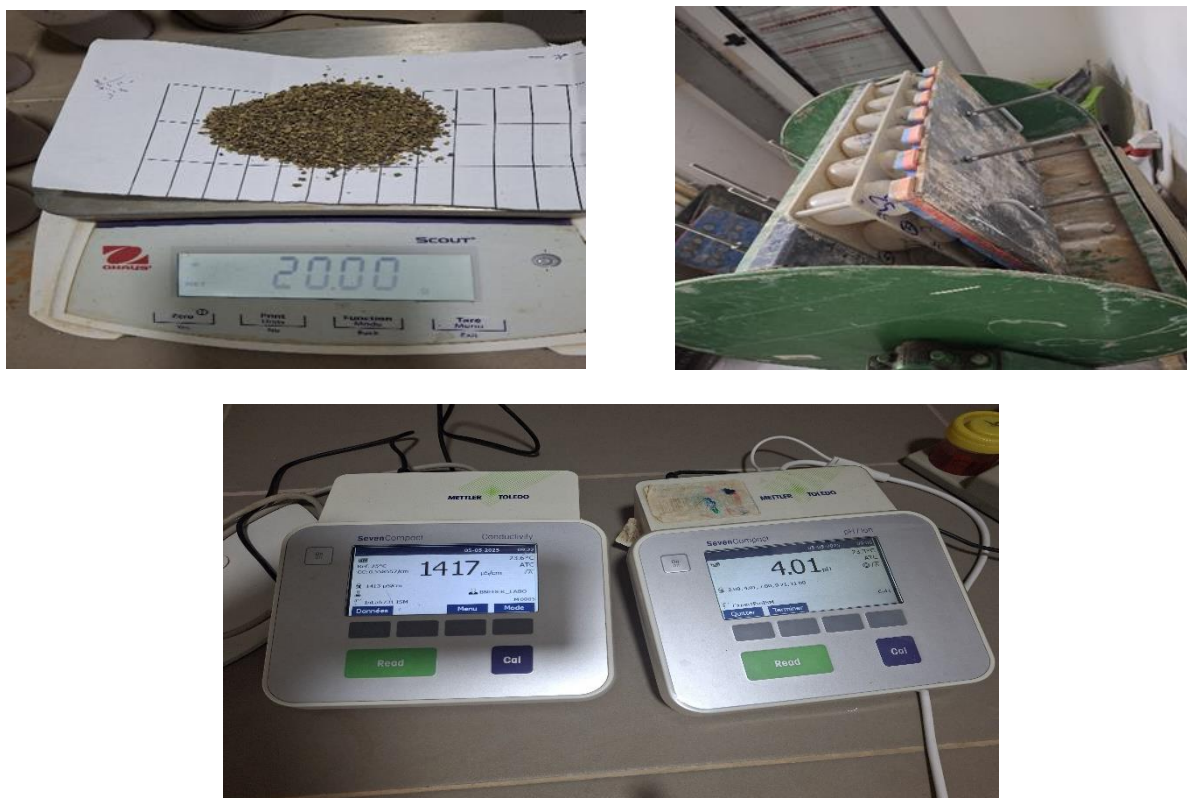


Figure 6 : Etapes de mesure de la conductivité électrique (CE)

2.2.3.3 Granulométrie : AFNOR NF X 31-107

La méthode utilisée est la méthode internationale modifiée par l'utilisation de la pipette de ROBINSON. Dans cette méthode, l'argile et le limon sont prélevés dans une suspension stable de terre en respectant des conditions de temps, de profondeur et de température. Nous avons pesé 10g du sol pour chaque échantillon DX15 1 et DX15 2, avec trois répétitions pour chaque échantillon. Nous avons détruit la matière organique à l'aide de 50ml d'eau oxygénée, puis nous avons agité les échantillons et les avons mis dans un bain de sable jusqu'à leur sécheresse. Ensuite, nous avons procédé à la dispersion des particules grâce à 60ml d'hexamétaphosphate de sodium. Après agitation, nous avons séparé les sables par tamisage à 200 μ m pour le sable grossier et à 50 μ m pour le sable fin et les prélevés pour les autres fractions ont été mis dans des capsules et séchés à l'étuve à 105°C, puis nous les avons pesés. Nous avons isolé les particules plus fines Limons et Argiles par sédimentation selon un temps de chute déterminé, et nous les avons prélevées à l'aide d'une pipette à différentes durées. Nous avons séché et pesé chaque fraction, nous avons enfin calculé la répartition granulométrique du sol en séparant ses constituants selon leur taille : argile, limons, sables fins et sables grossiers (fig.7).



Figure 7 : Etapes de mesure de granulométrie.

2.2.3.4 Calcaire Total : NF ISO 10639(X 31-105)

La méthode au calcimètre de Bernard permet de doser le carbonate de calcium (CaCO_3) dans un échantillon en mesurant le volume de CO_2 dégagé lors de la réaction avec l'acide chlorhydrique (HCl). Nous avons pesé 1 g de sol pour chaque échantillon et nous avons réalisé 3 essais pour chacun. Nous avons introduit 0,3 g de CaCO_3 pur et sec dans un erlenmeyer et nous l'avons humidifié avec quelques gouttes d'eau distillée. Nous avons ajouté 5 ml d'HCl dans un petit tube et nous l'avons introduit dans l'erlenmeyer sans faire couler l'acide. Nous avons bouché l'erlenmeyer et nous l'avons raccordé au calcimètre. Nous avons déclenché la réaction en inclinant l'erlenmeyer pour verser l'HCl sur le CaCO_3 , puis nous avons agité pour favoriser la réaction, et nous avons mesuré le volume de CO_2 dégagé. Nous avons noté le volume de CO_2 dégagé en ml (fig.8). Si le volume de gaz dégagé est supérieur à 25 ml, le calcaire actif doit être dosé.

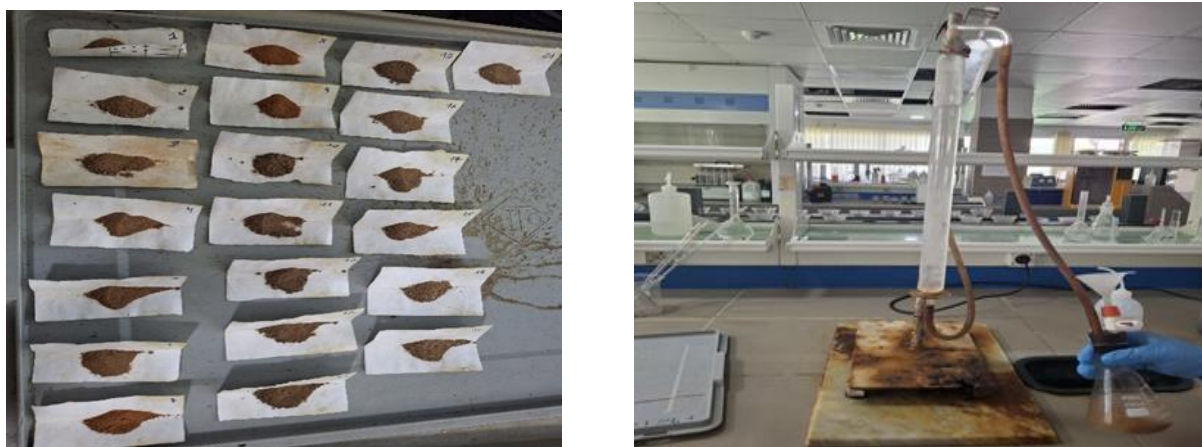


Figure 8 : Etapes de mesure du calcaire total.

2.2.3.5 Calcaire actif : AFNOR NF X 31-106

Nous avons utilisé la méthode de Drouineau pour déterminer la quantité de calcaire actif dans nos échantillons de sol. Nous avons pesé 5 g de sol pour chaque échantillon et avons répété 3 essais pour chacun. Nous avons ajouté 125 ml d'oxalate d'ammonium à chaque échantillon et avons agité les échantillons durant 2 heures dans un agitateur mécanique. Ensuite, nous avons prélevé 10 ml de chaque échantillon et les avons mis dans des béchers de 100 ml. Nous avons ajouté 10 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) à chaque bécher. Nous avons ensuite placé les béchers sur un agitateur magnétique et avons titré les échantillons avec une solution de permanganate de potassium ($KMnO_4$) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante (fig.9). Nous avons noté le volume de permanganate de potassium utilisé, qui correspond au volume de calcaire actif en ml.

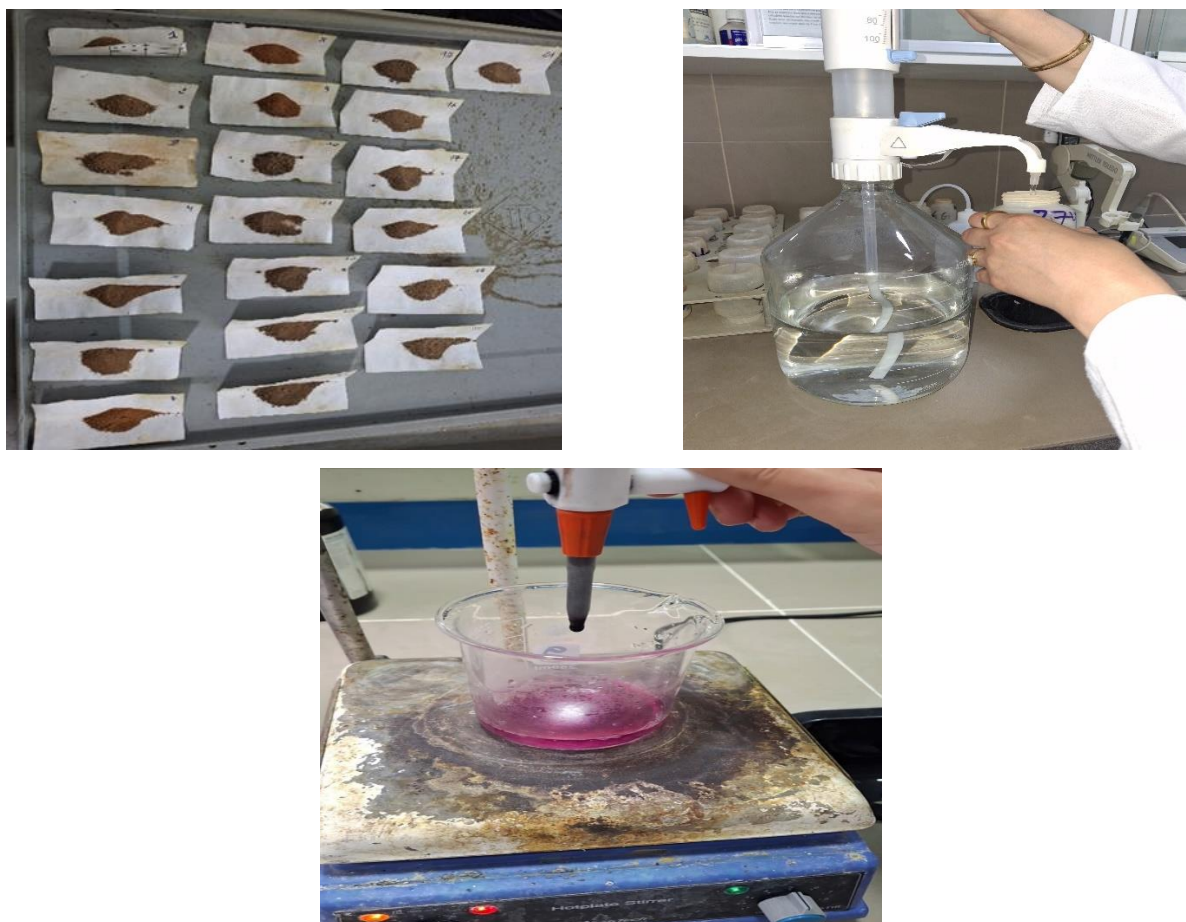


Figure 9 : Etape de mesure du calcaire actif

2.2.3.6 Azote total : ISO 11261 et ISO 13395

L'azote dans le sol est présent principalement sous forme de nitrate, une forme facilement extractible et assimilable par les plantes. Ce nitrate provient du processus de

nitrification, par lequel les micro-organismes du sol convertissent l'azote ammoniacal en nitrate. Cette transformation est essentielle pour la nutrition azotée des plantes.

Pour l'analyse, les réactifs suivants sont utilisés : un catalyseur pour faciliter la minéralisation, 10 g de sulfate de potassium (K_2SO_4), 1 g de sulfate de cuivre ($CuSO_4$), 0,1 g de sélénium, ainsi que de l'acide sulfurique (H_2SO_4).

Le mode opératoire est le suivant : on pèse 1 g de sol que l'on place dans un matras. On y ajoute 1 g de catalyseur, un peu d'eau distillée, puis 50 ml d'acide sulfurique. On complète avec de l'eau distillée. Le mélange est ensuite placé dans un minéralisateur à 350 °C pendant 24 heures. Après refroidissement, la solution est filtrée et transférée dans une fiole jaugée, puis complétée jusqu'à 100 ml avec de l'eau distillée. Enfin, l'échantillon est analysé à l'aide d'un auto-analyseur (fig.10).



Figure 10 : Etape de mesure de l'azote total.

2.2.3.7 Carbon Organique Total : AFNOR NF X 31-109

Le COT a été mesuré par la méthode colorimétriques. On a utilisé du Dichromate de potassium et de l'acide sulfurique pour transformer le carbone en CO_2 . Pendant la réaction, la couleur change de l'orange au vert, ce qui permet de mesurer le carbone par une lecture avec un colorimètre. On a pesé 0,5 g du sol dans un bêcher, puis on a ajouté 5ml de dichromate de potassium, puis 5ml d'acide sulfurique. On l'a laissé au repos 20 minutes, puis on a ajouté 25ml d'eau distillée. On a comparé à une gamme étalon préparée avant à partir de glucose de différentes concentrations [0-3-5-10 et 15] (fig.11)

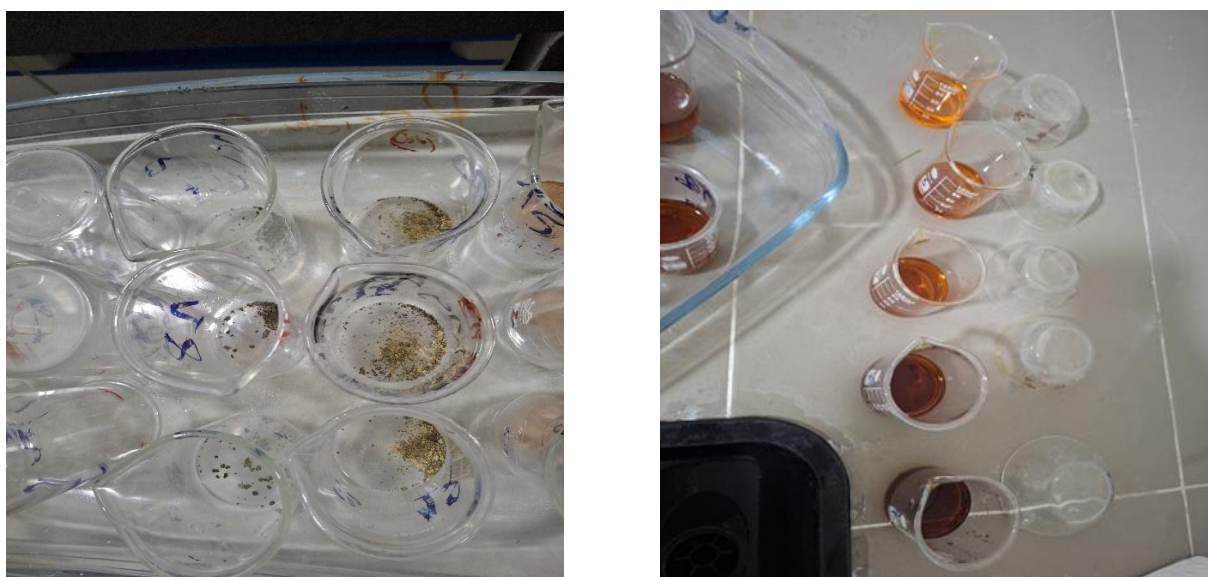


Figure 11 : Etape de mesure de carbone organique total.

2.3 Méthode mathématique

Il s'agit de déterminer le potentiel de lessivage de chaque matière active à partir de ses propriétés physico-chimiques à l'aide d'un indice intitulé GUS (Groundwater Ubiquity Score). Celui-ci permet de calculer le potentiel d'un pesticide à contaminer l'eau souterraine par lessivage et l'eau de surface par l'infiltration via les systèmes de drainage.

Cet indice base sur deux propriétés physico chimiques d'un composé : le coefficient d'absorption sur le carbone organique (K_{oc} en ml/g) et de sa demi-vie dans les sols.

La formule proposée par Gustafon 1998 est :

$$\text{GUS} = \log (\text{DT50}) * (4 - \log (\text{Koc}))$$

DT50 : temps de demi-vie (en jours)

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

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

Cette étude a consisté en l'évaluation du transfert des pesticides vers les nappes phréatiques. Une enquête a d'abord été menée auprès des agriculteurs pour collecter des informations sur les pratiques agricoles et l'utilisation des pesticides dans les régions étudiées. Des analyses physico-chimiques ont été ensuite réalisées sur les sols pour déterminer leurs propriétés. Enfin, un indice de transfert des pesticides vers les nappes phréatiques a été calculé pour évaluer le risque de contamination de ces dernières.

1.1 Résultats de l'enquête

Les données concernant cette étude (Tableau 4), ont été collectées grâce à des enquêtes par questionnaires réalisées le 09 avril 2025. Des agriculteurs des régions de Mekla et de Tacift Ait Khelili ont été interrogés afin de dresser l'inventaire des pesticides utilisés et d'identifier leurs matières actives.

Il ressort de cette investigation (Tableau 4), que sur la culture de la pomme de terre, le principal pesticide employé est l'herbicide Vapcor utilisé pour la culture de pomme de terre, tandis que le fongicide Prévicur Energy 840 SL est appliqué afin de lutter contre certaines maladies fongiques pouvant affecter cette culture.

Dans la région de Tacift Ait Khelili, la culture dominante étant la céréale, le principal pesticide utilisé est l'herbicide Cossack OD utilisé pour le blé tendre, afin de combattre les mauvaises herbes concurrentes dans ce système de culture.

Les agriculteurs ayant bénéficié d'une formation sur l'utilisation des produits phytosanitaires suivent généralement toutes les recommandations en matière de protection. Bien que la superficie des parcelles soit relativement réduite, ils traitent de manière ciblée, en utilisant du matériel adapté.

En revanche, les agriculteurs n'ayant pas bénéficié de formation n'appliquent pas de calendrier fixe des traitements ; ils interviennent plutôt en fonction des besoins, ce qui peut conduire à des applications répétées.

Tableau 4 : résultats de l'enquête de terrain

	Pomme de terre (Mekla)	Blé tendre (Tacift Ait Khelili)
Date de l'enquête	09/04/2025	09/04/2025
Stade de développement des plantes	Levée	Floraison 01 janvier→semis
Historiques de la culture	Depuis 2021 (04 an)	Depuis 2010
Maladies et ravageurs	Le Mildiou	Rouilles Puccinia
Pesticides utilisés	Fongicide : Prévicur Energy 840 SL Herbicide : Vapcor	Herbicide : Cossack OD
Fréquence et période de traitement	Fongicide : 2.5L→1ha Herbicide : 500g→400L→1ha	1 fois au début du tallage 1L→1ha
Précaution	Masque Gants	Masque Combinaison Gants
Suivi d'une formation	Non	Oui

1.2 Caractérisation des sols

Une caractérisation physico-chimique des sols des deux régions a été réalisée pour comprendre le comportement des pesticides.

1.2.1 Détermination du potentiel d'hydrogène :

Les valeurs de pH obtenues dans les deux régions étudiées varient entre 8,46 pour le sol de la parcelle de Tacift Ait Khelili et 8,08 pour celui de Mekla (fig.12). Les deux valeurs sont entre 7,9 à 8,4, cela indique que les sols des deux parcelles étudiées sont légèrement alcalins, conformément à l'interprétation des valeurs de pH présentée dans le tableau 1 de l'annexe 2.

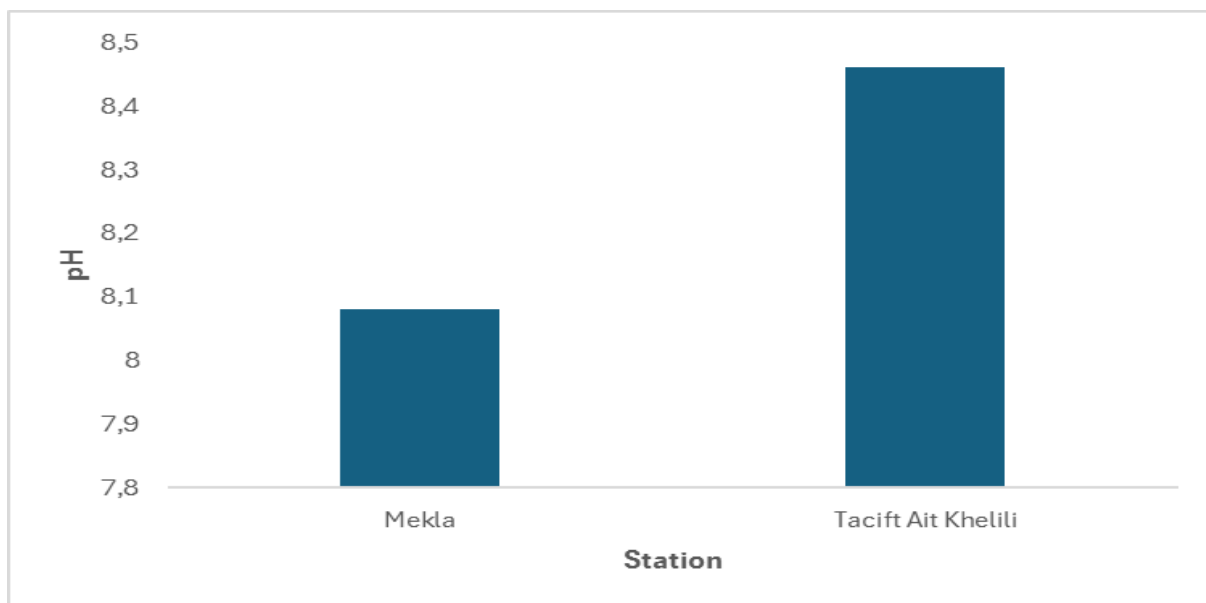


Figure 12 : Résultats du pH des sols des deux sites étudiés.

1.2.2 Mesure de la conductivité électrique :

Les valeurs de la conductivité électriques dans les deux sols des régions étudiées 0,16 mmhos/cm pour le sol de la parcelle de Tacift Ait Khelili et 0,41mmhos/cm pour celui de Mekla (fig.13). Les deux valeurs sont inférieures à 0,6, cela indique que les sols des deux parcelles étudiées sont non salés, selon les critères d'interprétation de la conductivité électrique présenté dans le tableau 2 de l'annexe 2.

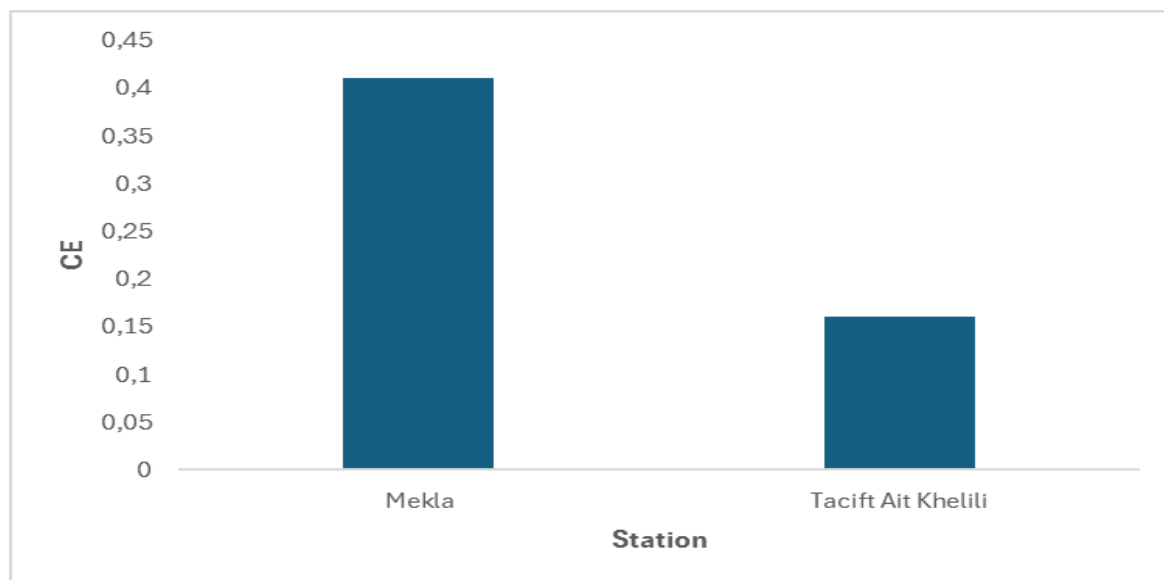


Figure 13 : Résultats de la conductivité électrique des sols des deux sites étudiés.

1.2.3 Granulométrie :

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols des deux parcelles étudiées, Mekla et Tacift Ait Khelili, révèlent des différences notables dans la composition texturale (fig.14). La parcelle de Mekla présente une répartition relativement équilibrée entre les fractions argileuses (33,36%), limoneuses fines (17,28%) et limoneuses grossières (23,02%), ainsi qu'une proportion significative de sable fin et grossier (23,02% et 1,22% respectivement). En revanche, la parcelle de Tacift Ait Khelili se caractérise par une dominance marquée de l'argile (46,96%) et du limon fin (28,00%), avec des proportions plus faibles de limon grossier (13,02%), sable fin et sable grossier (4,08% et 4,95% respectivement).

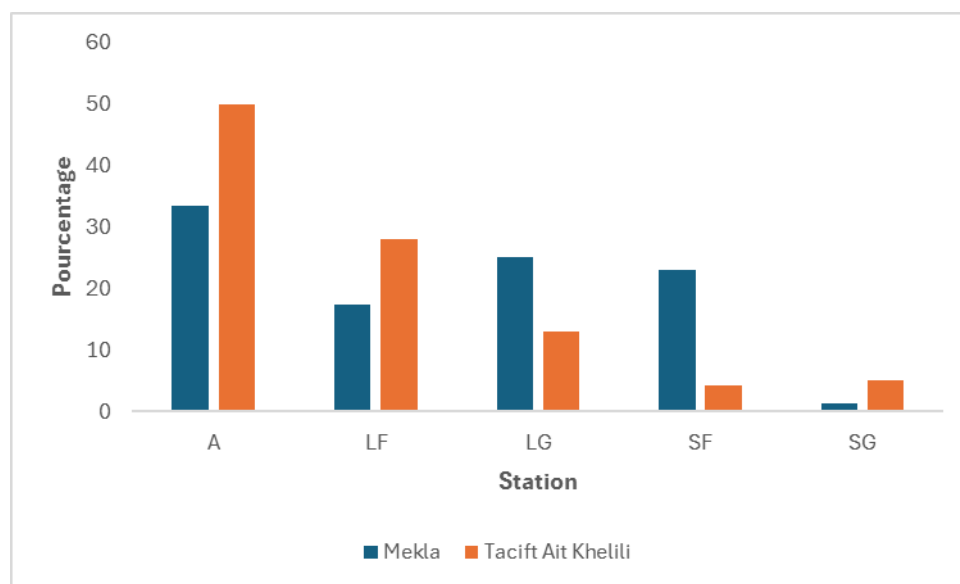


Figure 14 : Résultats de l'analyse granulométrique des sols des deux sites étudiés.

La projection des proportions des fractions granulométriques sur le triangle textural (Annexe 2), indique que le sol de la parcelle de Mekla est limono-argileux, et pour celui de Tacift Ait Khelili est argilo-limoneux.

1.2.4 Calcaire total :

Les teneurs en calcaire total dans les deux régions étudiées révèlent une variabilité, allant de 10,75 % pour le sol de la parcelle de Mekla à 7,88 % pour la parcelle de Tacift Ait Khelili (fig.15). Les deux valeurs se situent entre 5 à 25%, cela indique que les sols des deux parcelles étudiées présentent une nature modérément calcaire, comme indiqué dans le tableau 3 de l'annexe 2, relative à l'interprétation du calcaire total.

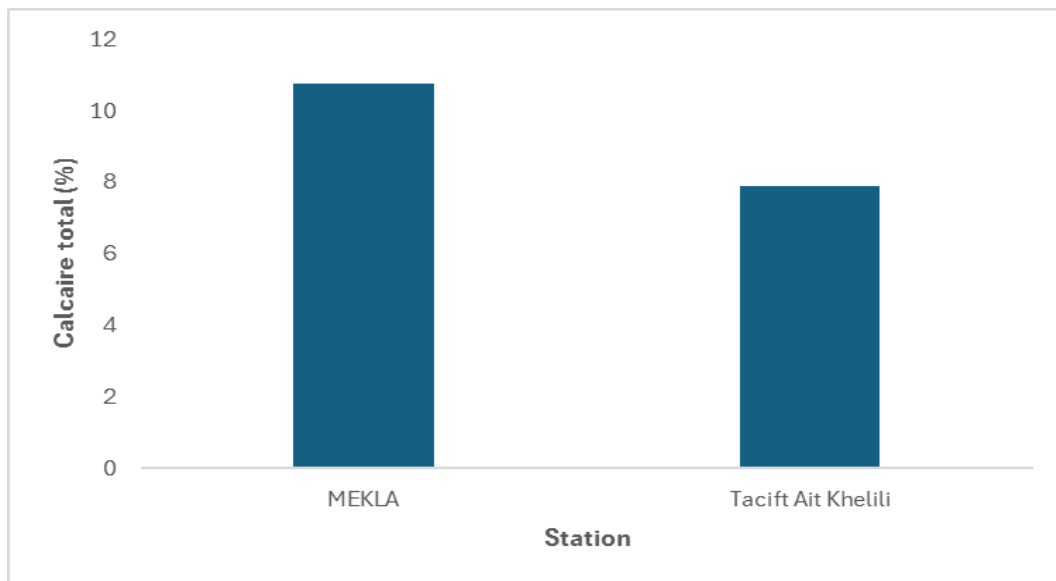


Figure 15 : Résultats du calcaire total des sols des deux sites étudiés.

1.2.5 Calcaire actif :

Les teneurs en calcaire total dans les deux régions étudiées traduisent une dispersion des valeurs entre 5,39 % pour le sol de la parcelle de Mekla et 5,32% pour la parcelle de Tacift Aït Khelili (fig.16). Les deux valeurs sont comprises entre 5 à 12,5%, cela indique que les sols des deux parcelles étudiées présentent une nature faiblement calcaire, selon les normes définies dans le tableau 3 dans l'annexe 2, pour le calcaire actif.

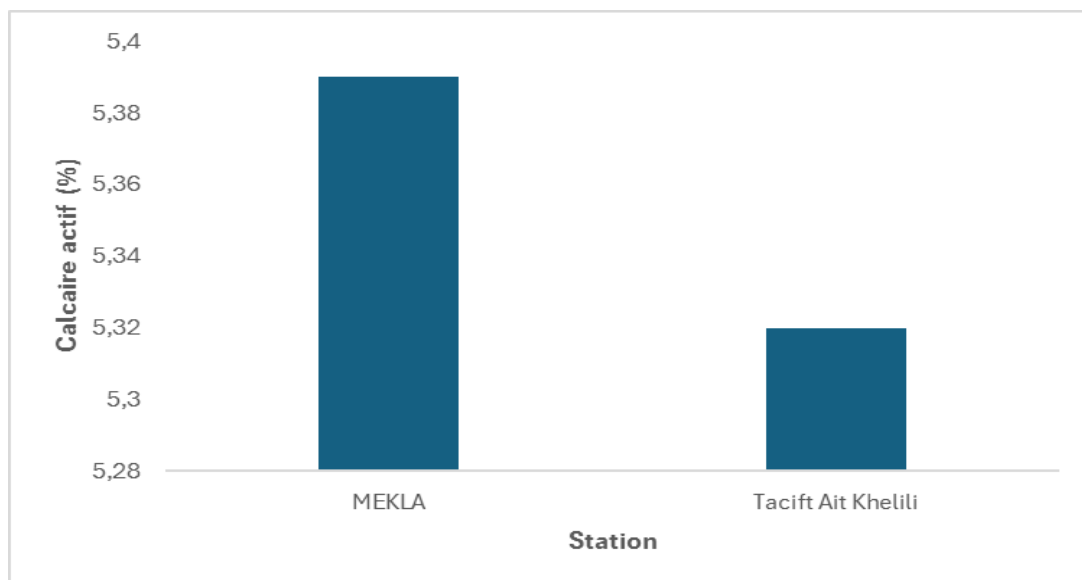


Figure 16 : Résultats du calcaire actif des sols des deux sites étudiés.

1.2.6 Teneur en azote total :

D'après les résultats obtenus, le taux d'azote varie de 1,76% pour le sol de la parcelle de Tacift Ait Khelili et 1,46% pour celui de Mekla (fig.17), cela indique que les sols des deux parcelles étudiées sont très riches en azote (N), selon des normes données dans le tableau 4 de l'annexe 2.

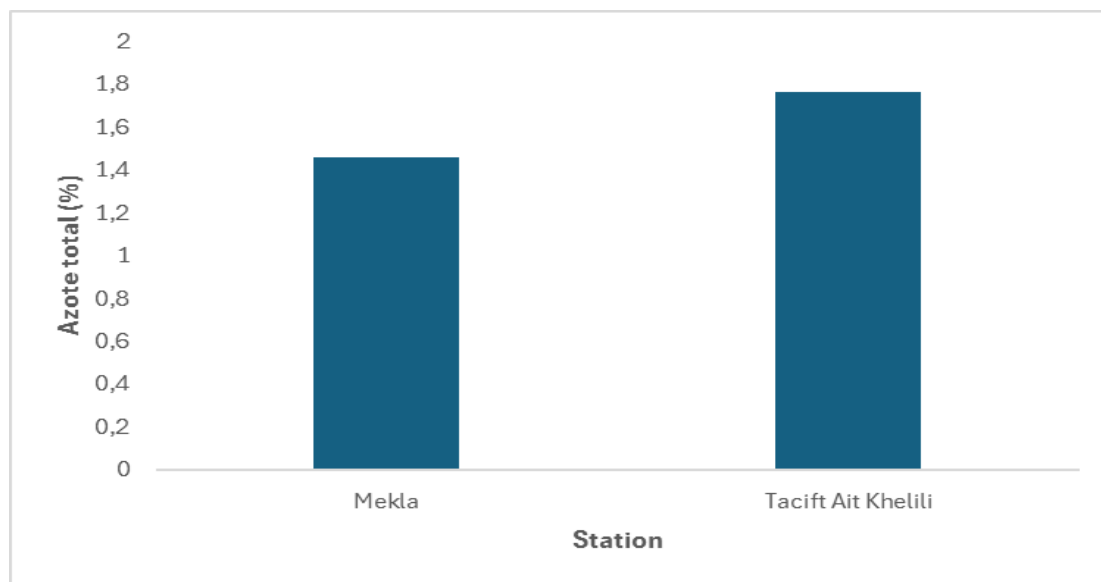


Figure 17 : Résultats de la teneur des sols des deux sites étudiés en azote total.

1.2.7 Matière organique :

La teneur carbone organique total des sols des deux sites étudiés varie entre 0,71% pour celui de la parcelle de Mekla et 1,04% pour celui de la parcelle Tacift Ait Khelili (fig.18), cela indique que le sol de la parcelle de Mekla pauvre en MO et le sol de la parcelle de Tacift Ait Khelili étudiés est moyennement pauvre en MO, selon les normes d'interprétation dans le (tableau 5, annexe 2).

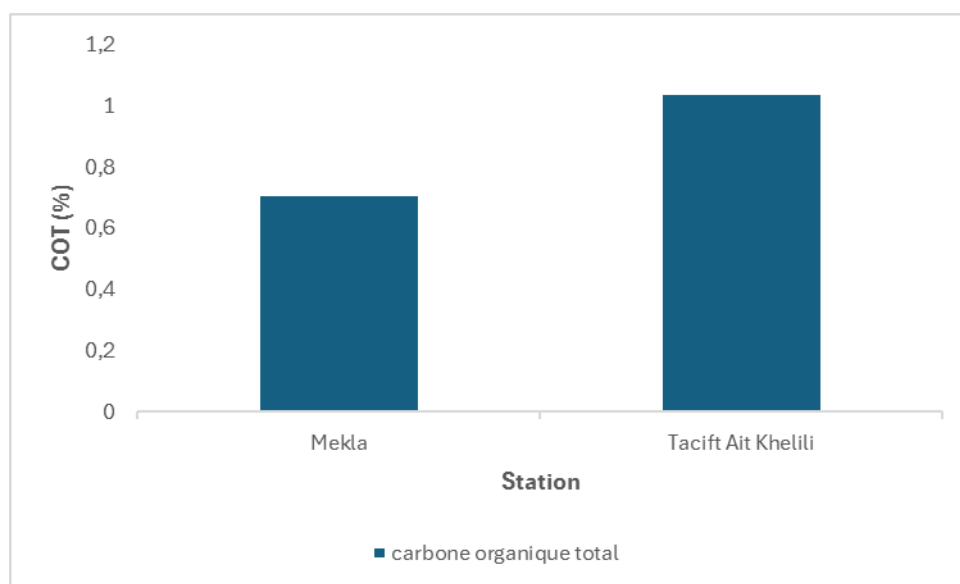


Figure 18 : Résultats de la teneur en carbone organique total des sols des deux sites étudiés.

1.2.8 Mesure de rapport C/N :

Les résultats de l'analyse de l'activité biologique des sols étudiés, évaluée par le rapport carbone/azote, sont présentés dans (fig.19).

D'après le résultats obtenus, l'activité biologique la plus élevée est celle de la parcelle de Tacift Ait Khelili qui est de 0,59 par rapport à celle de la parcelle de Mekla qui est de 0,48.

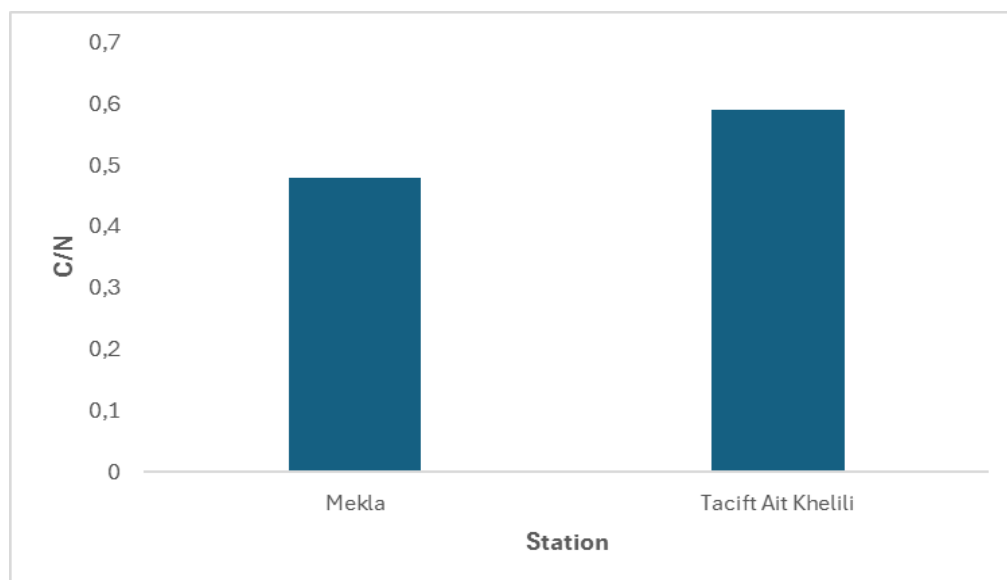


Figure 19 : Résultats du rapport C/N des sols étudiés.

1.3 Évaluation du risque de pollution de la nape phréatique par les pesticides :

Les résultats du calcul de l'indice de transfert des pesticides du sol vers le sous-sol, basé sur l'indice GUS (Groundwater Ubiquity Score), sont présentés dans le tableau. Cet indice a été déterminé en fonction de la demi-vie et du coefficient de partage en carbone organique-eau (Koc) des matières actives des pesticides utilisés, afin d'évaluer leur contamination des eaux souterraines.

Tableau 5 : Indice de transfert des pesticides vers l'eau du sous-sol

Pesticide	Matière(s) active(s)	DT 50 (j)	Koc (ml/g)	Référence	Indice de transfert (GUS)
Previcur Energy 840 SL	Fosétyl-Aluminium	<1	311	SAGÉ.Qc. Canada	0
	Propamocarbe (hydrochloride)	35,4	41- 1317	SAGÉ.Qc. Canada	1,36 à 3,69
Vapcor	Metribuzine 70%	106	99	SAGÉ.Qc. Canada	4,05
Cossak OD	Iodosulfuron- méthyl-sodium	54	48	Anses,2011	4,01
	Mésosulfuron- méthyl	35,9	48	Anses,2014	3,60
	Méfenpyr-diéthyl	6,2	550- 8001	Anses ,2009	0,99 à 0,86



Risque élevé



Risque faible à élevé



Risque faible

1 Discussion

Les résultats de cette étude, portant sur l'évaluation du risque de transfert des pesticides vers les sous-sols dans les sols cultivés de la wilaya de Tizi Ouzou, montrent que plusieurs facteurs influencent la mobilité des pesticides, notamment les caractéristiques des sols, les matières actives utilisées et les pratiques agricoles des agriculteurs. Les enquêtes menées dans les deux parcelles étudiées, situées à Mekla et à Tacift Ait Khelili, ont permis de mettre en évidence des différences significatives en termes de formation et de gestion des produits phytosanitaires. L'agriculteur de Tacift Ait Khelili, spécialisé en arboriculture, applique des méthodes de protection et d'utilisation des pesticides conformes aux bonnes pratiques grâce à une formation préalable. En revanche, les agriculteurs de Mekla n'ont pas bénéficié de formation, ce qui peut expliquer des pratiques moins rigoureuses et potentiellement plus risquées.

Les analyses physico-chimiques des sols des deux parcelles ont révélé un pH modérément alcalin, des sols non salins et modérément calcaires. Cependant, la teneur en matière organique diffère, avec une pauvreté en matière organique dans la parcelle de Mekla, et une teneur modérément faible à Tacift Ait Khelili. Le rapport C/N plus élevé à Tacift Ait Khelili témoigne d'une matière organique plus stable dans cette parcelle, ce qui peut favoriser une meilleure rétention et dégradation des pesticides. Les deux parcelles présentent une richesse en azote total. Du point de vue granulométrique, la parcelle de Mekla présente une texture limono-argileuse, tandis que celle de Tacift Ait Khelili est argilo-limoneuse, une différence qui influence directement la mobilité des pesticides.

Les indices GUS calculés pour les pesticides utilisés dans ces parcelles permettent de mieux évaluer les risques de contamination des eaux souterraines. Dans la parcelle de Mekla, le Previcur Energy 840 SL, contenant le fosétyl-aluminium, présente un indice GUS de 0, indiquant un risque très faible de transfert. Cependant, le propamocarbe, une autre matière active du même pesticide, présente un risque faible à élevé avec un indice de GUS 1,36 à 3,69. Le propamocarbe, représente donc un risque important de lessivage et de contamination des nappes, surtout dans les sols pauvres en matière organique comme celui de Mekla, où la capacité de rétention est réduite. En complément, le Vapcor, utilisé également dans cette parcelle, contient de la métribuzine avec un indice GUS de 4,05, ce qui confirme un risque élevé de transfert vers les eaux souterraines. La combinaison d'un sol pauvre en matière organique, d'une texture relativement légère et d'un manque de formation chez les agriculteurs augmente ainsi considérablement le risque de transfert des pesticides dans la parcelle de Mekla.

Dans la parcelle de Tacift Ait Khelili, les pesticides utilisés présentent également des indices GUS. Le Cossack OD, composé d'iodosulfuron-méthyle et de mésosulfuron-méthyle, affiche respectivement des indices GUS de 4,01 et 3,60, traduisant un risque élevé de transfert. En revanche, la matière active méfénpyr-diéthyl présente dans ce pesticide affiche des indices compris entre 0,89 et 0,99, indiquant un faible risque de mobilité. Bien que les matières actives principales présentent une forte mobilité, la texture argilo-limoneuse et la teneur en matière organique plus élevée dans cette parcelle peuvent limiter partiellement le risque de transfert, d'autant plus que l'agriculteur applique les pesticides de manière encadrée et raisonnée, grâce à la formation reçue. Selon Gobat et al., (1998), la dégradation des pesticides dépend en grande partie de la richesse en micro-organismes du sol, elle-même influencée par la matière organique. Dans la parcelle de Mekla, la faible teneur en matière organique pourrait entraîner une faible activité microbienne et une dégradation ralentie des pesticides, augmentant leur persistance et leur mobilité dans le sol. À l'inverse, la situation semble légèrement plus favorable à Tacift Ait Khelili, où les conditions permettent une meilleure rétention et une dégradation plus efficace des pesticides.

Comme le rappellent Spark et Swift (2002), la présence d'argile améliore la rétention des pesticides et réduit leur mobilité, ce qui correspond aux observations dans la parcelle de Tacift Ait Khelili. Les pratiques agricoles maîtrisées, notamment grâce à la formation, participent également à la réduction des risques de transfert. Cette différence est essentielle, car dans la parcelle de Mekla, l'absence de formation pourrait entraîner des erreurs de dosage ou une application inappropriée, aggravant les risques environnementaux. Les résultats de cette étude confirment les travaux de Bailey et White (1970), qui ont souligné l'importance de la matière organique et des minéraux argileux dans la rétention des pesticides. Les caractéristiques physico-chimiques des deux sols, notamment le pH modérément alcalin et la richesse en azote total, sont généralement favorables à l'activité microbienne (Pieuchot et al., 1996), mais l'efficacité de cette dégradation reste étroitement liée à la quantité de matière organique disponible.

Dans l'ensemble, ces résultats confirment que la texture du sol, la matière organique, les conditions climatiques et les pratiques agricoles influencent fortement le comportement et le devenir des pesticides dans le sol. La gestion intégrée des ravageurs (GIR) et l'utilisation de produits biologiques apparaissent comme des alternatives durables pour limiter les risques de transfert et de contamination des nappes phréatiques, comme le recommandent Pretty et al.

(2018) et Gould (1998). La formation des agriculteurs reste donc une priorité pour assurer une utilisation raisonnée des pesticides et garantir la préservation des ressources en eau souterraine.

Conclusion

L'étude menée dans le cadre de ce mémoire avait pour objectif d'évaluer le risque de transfert des pesticides vers les sous-sols dans les sols cultivés de la wilaya de Tizi Ouzou. Les résultats obtenus ont mis en évidence que le comportement des pesticides dans le sol dépend étroitement de plusieurs facteurs combinés : les caractéristiques physico-chimiques des sols, les propriétés des substances actives utilisées et les pratiques agricoles adoptées par les agriculteurs.

L'analyse des deux parcelles étudiées, situées respectivement à Mekla et à Tacift Ait Khelili, a montré que la parcelle de Mekla présente un risque plus élevé de transfert des pesticides vers les eaux souterraines. Ce risque s'explique par la faible teneur en matière organique, une capacité de rétention plus limitée et l'absence de formation des agriculteurs sur les bonnes pratiques d'utilisation des pesticides. Les indices GUS calculés pour certains pesticides appliqués dans cette parcelle, notamment le propamocarbe et la métribuzine, confirment une forte mobilité et un potentiel de lessivage préoccupant.

En revanche, la parcelle de Tacift Ait Khelili présente des conditions plus favorables à la rétention des pesticides grâce à une texture argilo-limoneuse, une matière organique modérément faible et des pratiques agricoles mieux maîtrisées. Bien que les pesticides utilisés dans cette parcelle présentent également des indices GUS élevés, les risques de transfert sont partiellement atténués par la capacité du sol à limiter la migration des substances actives.

Cette étude a ainsi démontré que les propriétés des sols, en particulier la teneur en matière organique et la texture, influencent fortement la mobilité des pesticides, ce qui rejoint les conclusions de Bailey et White (1970), Spark et Swift (2002) et Gobat et al. (1998). De plus, les pratiques agricoles locales, notamment la formation des agriculteurs et l'adoption de méthodes de gestion intégrée des ravageurs (GIR), apparaissent comme des éléments essentiels pour réduire les risques environnementaux liés à l'usage des pesticides, comme le recommandent Pretty et al. (2018) et Gould (1998).

Dans cette optique, il est fortement recommandé :

- ✓ Utiliser des pesticides présentant un faible indice de transfert afin de limiter le risque de contamination des nappes phréatiques.

- ✓ Encourager l'utilisation de pesticides biologiques tels que le Limocide, le Solabiol et le Trichoderma, un champignon bénéfique reconnu pour ses propriétés de lutte contre les pathogènes du sol.

- ✓ Adopter des alternatives naturelles comme le purin d'ortie, qui offre une solution efficace et respectueuse de l'environnement pour renforcer les défenses naturelles des plantes.

✓ Généraliser la formation et la sensibilisation des agriculteurs sur les bonnes pratiques phytosanitaires et les solutions durables.

✓ Poursuivre les recherches en élargissant l'étude à d'autres types de cultures et à d'autres régions, tout en intégrant une analyse plus approfondie des conditions climatiques et des dynamiques hydriques locales, afin de mieux cerner l'impact global des pesticides sur l'environnement et la santé publique.

Références bibliographiques

1. Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., & 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.
2. Anonyme (2012). Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. Protection intégrée : principes et définition.
3. Anonyme (2013). Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. Maitrise des produits phytosanitaires (pesticides) : traitement des denrées stockées.
4. Bailey, G. W., & 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.
5. Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie. Edition INRA, 262 p.
6. Beigel, C., & Di Pietro, L. (1999). Facteurs influençant la contamination des eaux souterraines par les pesticides : étude bibliographique. Rapport BRGM/RR-40744-FR, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, 150p.
7. Black C. A. (1965). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy Series n° 9, ASA, Madison Wisconsin, USA, 9 (2), 771-1572.
8. Boland, J., Koomen, I., De Jeude, J. V. L., & Oudejans, J. (2004). Les pesticides : composition, utilisation et risques. Wageningen: Agrodok, 129 p.
9. Boland, J., Koomen, I., De Jeude, J. V. L., & Oudejans, J. (2007). Les pesticides : Composition, utilisation et risques. Agromisa et CTA, 2ème éd., 124 p.
10. Calvet, R., Barriuso, E., Bedos, C., Benoit, P., Dubus, I. G., & Houot, S. (2005). Les pesticides dans le sol : Conséquences agronomiques et environnementales. Paris : Éditions France Agricole, 637p.
11. Conférence régionale FAO/OMS sur la sécurité sanitaire des aliments en Afrique, Harare (Zimbabwe), 3-6 octobre 2005, 40p.
12. Cotton, Jérôme. 2015. Application de l'analyse métabolomique à la détection ciblée et globale de contaminants organiques dans des matrices agroalimentaires et environnementales par spectrométrie de masse à ultra-haute résolution. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), spécialité Chimie analytique, 380p.

13. CPP (2002). Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. Comité de la Prévention et de la Protection, 47 p.
14. Diatta, A. E. R., Diatta, A. L., Fall, M. C. G., & Ndiaye, M. (2021). Exposition aux pesticides organophosphorés des travailleurs du domaine agricole communautaire de Sefa Sedhiou. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 33(2), 116-122.
15. Elbert, A., Haas, M., Springer, B., Thielert, W., & Nauen, R. (2008). Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*, 64(11), 1099-1105.
16. Enfield, C. G., & Yates, M. V. (1990). Transport of hydrophobic organic compounds in porous media. *Chemosphere*, 20(1-2), 161-178.
17. Environ Risque Sante – Vol. 19, n° 2, mars-avril 2020.
18. European Environment Agency (EEA) (2023). How pesticides impact human health and ecosystems in Europe.
19. FAO (2019). La santé des plantes et la sécurité alimentaire mondiale. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Rome.
20. Fillatre, Y. (2011). Produits phytosanitaires : Développement d'une méthode d'analyse multirésidus dans les huiles essentielles par CL couplée à la spectrométrie de masse en tandem. Thèse de doctorat, Université d'Angers, 266p.
21. Fournier, J. (1988). Chimie des pesticides. Cultures et Techniques. Agence de Coopération Culturelle et Technique ; Université d'Angers, 350 p.
22. Garud, A., Patil, S., & Bhagat, P. (2024). A scientific review of pesticides : Classification, toxicity, and control of pests. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 16 (8) : E67945, 12p.
23. Gatignol, C., & Etienne, J. (2010). Pesticides et santé. Rapport parlementaire, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 262p.
24. Gobat, J. M., Aragno, M., Matthey, W., & 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.
25. Gould, F. (1998). Implementing the concepts of integrated pest management. *Review of Entomology*, 43(1), 162-182.
26. Isenring, R. (2010). Les pesticides et la perte de biodiversité. Pesticide Action Network Europe, 28 p.
27. ISRIC (1987). Procedures for soil analysis. 2nd edition. Edition L.P. van Reeuwijk, technical paper n°9, 120p.

28. Jackson M.L. (1967). Soil chemical analysis, 498p.
29. Jury, W. A., Spencer, W. F., & Farmer, W. J. (1987). Behavior assessment model for trace organics in soil: I. Model description. *Journal of Environmental Quality*, 16(4), 422-428.
30. Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis*. 2nd edition. Agronomy Series n° 9, ASA, Madison Wisconsin, USA, 1188p.
31. Mehda, A. (2022). Recensement et classification des pesticides dans le Ziban de l'Ouest. Mémoire de Master, Univ. Biskra, 42p.
32. Mouvet, C., & Baran, N. (2005). *Pesticides et qualité des eaux*. Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier, 65p.
33. Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016). Chemical pesticides and human health: The urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4, 148p.
34. ORSTOM (1973). Bulletin du Comité technique de pédologie, groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols, n°2, 108 p.
35. Pathak, V. M., et al. (2022). Current status of pesticide effects on environment, human health, and their management. *Environmental Advances*, 9, 100292, 29p.
36. Pieuchot, L., Bouchard, M., Gagnon, P., & Lemieux, P. (1996). Impact du pH du sol sur la demi-vie des pesticides. *Revue de l'Environnement*, 22(3), 317-325.
37. Pretty, J., Morison, J., & Hine, R. (2018). *Integrated Pest Management and Sustainable Agriculture*. Oxford University Press, 152-182.
38. Ramade, F. (1979). *Ecotoxicologie*. 2ème éd., Masson, Paris, 228 p.
39. Rohlman, D. S., Arcury, T. A., Quandt, S. A., Lasarev, M., Rothlein, J., Travers, R., & McCauley, L. (2016). Occupational pesticide exposure and health in developing countries: A systematic review. *Journal of Agromedicine*, 21(2), 175-184.
40. Rusiecki, J. A., Holford, T. R., Zahm, S. H., & Zheng, T. (2004). Polychlorinated biphenyls and breast cancer risk by combined estrogen and progesterone receptor status. *European Journal of Epidemiology*, 19(8), 793-801.
41. Spark, D., & Swift, M. (2002). Impact of Clay Content on Pesticide Mobility. *Journal of Soil Science*, 53(4), 489-497.
42. Stellman, S. D., Djordjevic, M. V., Muscat, J. E., Gong, L., Bernstein, D., Citron, M. L., & Nafziger, A. N. (1998). Relative abundance of organochlorine pesticides and

- polychlorinated biphenyls in adipose tissue and serum of women in Long Island, New York. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, 7(6), 489-496.
43. Testud (2007). Insecticides organophosphorés, carbamates, pyréthriinoïdes de synthèse et divers, 24p.
44. Thakur, D. S., Jain, A., Jain, S., & Soni, P. (2014). Pesticide exposure and human health: A review. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 2 (2), 385-390.
45. Ware, G. W., & Whitacre, D. M. (2004). An introduction to insecticides. The pesticide book, 6th ed, 488p.
46. <https://theses.hal.science/tel-04224004v1>.
47. <https://www.cottineau.net/qu-est-ce-qu-un-pesticide/>.

Annexes

Annexe 1

Questionnaire agriculteurs

Questionnaire N°

Lieu de l'enquête

Date de l'enquête

1. Quelles est la localisation exacte des parcelles étudiées ?

-

2. Quelles sont les cultures pratiquées ?

-

3. Quel est le stade de développement des plants ?

-

4. Quel est l'âge de la culture ?

-

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

-

6. Quels sont les types des pesticides les plus utilisés ?

✓ Insecticide

✓ Herbicide

✓ Fongicide

✓ Autres

✓ Lesquels ?

7. Quelles sont les fréquences et les périodes de traitement des pesticides appliqués dans les parcelles étudiées ?

-

8. Quelles précautions prenez-vous personnellement lors de l'application des pesticides pour protéger votre santé et celle de votre entourage ?

- ✓ Combinaison
- ✓ Masques
- ✓ Gants
- ✓ Lunettes
- ✓ Autres

9. Avez-vous suivi une formation spécifique sur l'utilisation des pesticides ?

Oui Non

Annexe 2

Normes d'interprétation des sols ISO ou AFNOR

Tableau 1 : Normes d'interprétation du Ph : NF ISO 10390 (X 31-107)

Paramètres	Valeurs	Interprétation
pH	<4,5	Extrêmement acide
	4,5 à 5	Très fortement acide
	5,1 à 5,5	Fortement acide
	5,6 à 6,5	Faiblement acide
	6,6 à 7,3	Neutre
	7,4 à 7,8	Légèrement acide
	7,9 à 8,4	Moyennement alcalins
	8,5 à 9	Fortement alcalins
	>9	Très fortement alcalins

Tableau 2 : Normes d'interprétation de la conductivité électrique : AFNOR NF ISO 10-970

Paramètres	Valeurs	Interprétations
CE (mmhos/cm)	<0,6	Non salé
	0,6 à 1,2	Peu salé
	1,2 à 2,4	Salé
	2,4 à 6,0	Très salé
	>6	Extrêmement

Le triangle textural : Normes d'interprétations de la granulométrie : AFNOR NF X 31-107

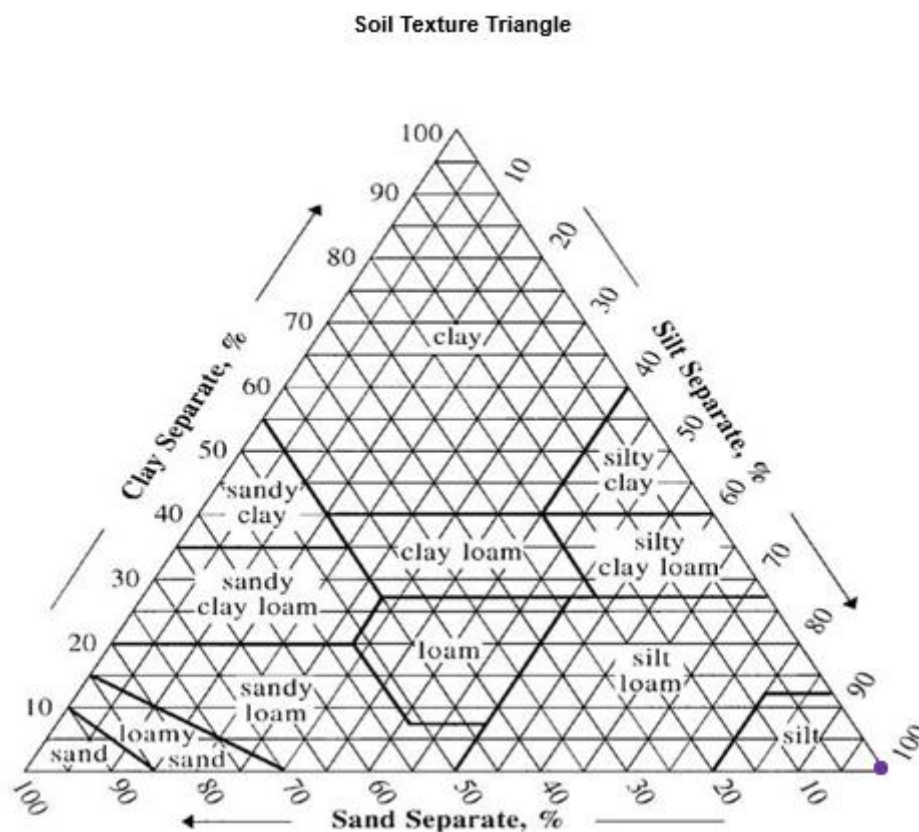


Tableau 3 : Normes d'interprétation du calcaire :

Calcaire total : NF ISO 10639(X 31-105)

Calcaire actif : AFNOR NF X 31-106

Paramètres	Valeurs	Interprétations
Calcaire (%)	<5	Non calcaire
	5 à 12,5	Faiblement calcaire
	12,5 à 25	Modérément calcaire
	25 à 37,5	Assez fortement calcaire
	37,5 à 50	Fortement calcaire
	>50	Très fortement calcaire

Tableau 4 : Norme d'interprétation de la teneur en Azote total (N) : ISO 11261 et ISO 13395

Paramètres	Valeurs	Interprétations
Azote (%)	<0,05	Très pauvre
	0,05 à 0,1	Pauvre
	0,1 à 0,15	Moyen
	0,15 à 0,25	Riche
	>0,25	Très riche

Tableau 5 : Norme d'interprétation de la matière organique : AFNOR NF X 31-109

Paramètres	Valeurs	Interprétations
M.O (%)	0,7	Sol très pauvres
	0,7 à 1	Sol pauvre
	1 à 2	Sol moyennement pauvre
	2 à 6	Sol riche
	>6	Sol très riche

Résumé

Les risques liés à l'utilisation des pesticides pour la santé humaine et l'environnement suscitent aujourd'hui une préoccupation croissante, en raison de leur impact sur la qualité des aliments et des ressources naturelles. Cette étude, menée auprès des agriculteurs de la wilaya de Tizi-Ouzou, vise à évaluer l'effet des pesticides sur la contamination des eaux dans les cultures de vignobles et d'agrumes. Les résultats révèlent une prédominance de l'utilisation des fongicides, suivis des insecticides. Des analyses physico-chimiques des sols ont été réalisées afin de compléter les données de terrain et de calculer l'indice de transfert des pesticides vers les sous-sols à l'aide de l'indice GUS. Les résultats obtenus soulignent la nécessité de contrôler et de mieux encadrer l'usage des pesticides afin de préserver la santé humaine et de protéger l'environnement.

Mots clés : pesticides, pollution de l'eau, sous-sols, indice de transfert GUS.

Absract

The risks associated with pesticide use on human health and the environment have become a growing concern, particularly due to their impact on food quality and natural resources. This study, conducted among farmers in the Tizi-Ouzou region, aimed to assess the effects of pesticides on water contamination in vineyard and citrus crops. The results revealed a predominant use of fungicides, followed by insecticides. Physico-chemical soil analyses were also carried out to complement field data and to calculate the pesticide leaching potential using the GUS index. The findings highlight the importance of controlling and better regulating pesticide use in order to protect both human health and the environment.

Keywords : pesticides, water pollution, subsoil, GUS leaching index.