



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



UNIVERSITE MOHAMED KHIEDER- BISKRA

FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE
LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de **Doctorat** en sciences agronomiques

Option : Protection des végétaux

THEME

**Adaptation des techniques d'application des produits
de traitement des cultures aux conditions locales,
optimisation de la qualité de pulvérisation et des pertes
dans l'environnement**

Présenté par : Mme BOUDRAA Loubna

Jury

Président :	FARHI Kamilia	(Prof - Univ. Med Khider, Biskra)
Promoteur :	BOUKHALFA Hassina Hafida	(Prof - Univ. Med Khider, Biskra)
Examineurs :	BETTICHE Farida	(MRA- CRSTRA, Biskra)
Examineurs :	DROUAI Hakim	(MCA – Univ. Med Khider, Biskra)

Année universitaire : 2024/2025.

Remerciements

J'aimerais remercier Dieu tout-puissant à la fin de ce travail. Toute œuvre d'art, quelle qu'elle soit, est le résultat d'un travail acharné. Elle est bien pensée, ambitieuse, supervisée, dirigée et orientée, et elle vise à apporter une contribution positive au domaine, comme c'est le cas ici. J'aimerais témoigner mon respect et ma gratitude à :

Mme Boukhalfa Hassina Hafida, Professeur à l'Université de Biskra, Département d'Agronomie, pour tout le soutien qu'elle m'a apporté au cours de ces années. Elle m'a beaucoup aidé à lancer mon sujet et à cibler mes objectifs. Elle s'est également beaucoup intéressée à mon travail de thèse et à mes publications, malgré ses nombreuses responsabilités. Elle m'a également donné accès à son laboratoire de recherche (PIARA), a toujours été présente pour moi et m'a apporté un grand soutien. J'espère que ce manuscrit témoigne de ma reconnaissance éternelle envers elle.

Mme FARHI Kamilia, Professeur à l'Université de Biskra, Département d'Agronomie, qui a bien voulu accepter de présider le jury de cette thèse. C'est un grand honneur que vous me faites. Je vous prie d'accepter mes remerciements, mon respect et ma reconnaissance.

Mr DROUAI HAKIM, Maître de conférences A., à l'Université de Biskra, département d'Agronomie, ainsi que Madame, **Mme BETICHE Farida** Maître de recherche A., au centre de recherche (CRSTRA Biskra) de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner cette thèse. Qu'ils trouvent ici le vif témoignage de mes remerciements.

Mme MEBRAK Naima, cheffe du département d'Agronomie à l'Université de Biskra pour son aide.

Tous les ingénieurs de DSA de Khenchela. Checher, Kais et Bouhmama, qui m'ont orienté et m'ont aidé par des informations agricoles de la wilaya.

Et aux agriculteurs qui m'ont donné de leur temps et m'ont accordé leur confiance en me révélant des informations de leurs exploitations et en me donnant l'occasion d'y effectuer des essais pratiques.

Boudraa Loubna

Dédicace



J'aimerais dédier cette thèse à ceux qui ont cru en ma réussite :

Mes formidables parents et Mes deux incroyables beaux-parents

Mon merveilleux mari Abd El-Halim Ma précieux petit ange,

Kacouther

Mes sœurs et mes frères adorables et sœur de mon mari

Mes petits anges, Abd Allah, Manissa, Baha Eddine, Ala

Eddine, Soujoud, Achref, Aya Rahmèn et Wassim et

Merièmè

La mémoire de mes grands-parents

- Et tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours.

Boudraa Loubna



Liste des tableaux

Titre	Page
Chapitre I : Monographie de la région d'étude	
Tableau 1. Les coordonnées de la station météorologique	8
Tableau 2. Vitesse moyenne des vents durant la période 2013-2022	10
Tableau 3. Evolution de l'arboriculture à Khenchela.	14
Chapitre II : Diagnostic des pratique phytosanitaire	
Tableau 4. Coordonnées des communes d'études	18
Tableau 5. Distribution des agriculteurs enquêtés dans les communes d'étude	20
Tableau 6. Répartition des agriculteurs en fonction de leurs niveaux d'études.....	22
Tableau 7. Connaissance des agriculteurs sur les pesticides	23
Tableau 8. Différents types des locaux de stockage des pesticides	24
Tableau 9. Disponibilité du matériel de traitement phytosanitaire dans les exploitations	26
Tableau 10. Opérations d'entretien des pulvérisateurs	27
Tableau 11. Identification des produits phytosanitaires utilisés en arboriculture	30
Tableau 12. Identification des produits phytosanitaires utilisés en céréaliculture.....	32
Chapitre III : Evaluation des risques d'exposition aux pesticides dans les sites d'étude	
Tableau 13. Catégories de la pression phytosanitaires.....	39
Tableau 14. Superficies totales des céréales et de pommiers par commune	43
Tableau 15. Calcul de l'IFT traitement pour la culture de pommier	44
Tableau 16. Calcul de l'IFT traitement pour la culture de Blé	45
Tableau 17. IFT parcelle calculés pour culture de pommier par site d'étude	49
Tableau 18. IFT parcelle calculés pour culture de céréales par site d'étude.....	50
Tableau 19. Indice de pression phytosanitaire pour la culture de pommier	51
Tableau 20. Indice de pression phytosanitaire pour la culture de Blé	52
Tableau 21. Evaluation de l'exposition des opérateurs en arboriculture.....	55
Tableau 22. Evaluation de l'exposition des opérateurs en céréales	57
Tableau 23. Classification toxicologique des matières actives utilisées par les enquêtés	61
Tableau 24. Gestion des restes de cuves par les agriculteurs enquêtés	63

Capitre IV : Evaluation des risques de dérive

Tableau 25. Principaux éléments des essais et leurs significations	70
Tableau 26. Taille des gouttelettes en fonction de la formation des produits	74
Tableau 27. Nombre d'impacts en fonctions de la cible	74
Tableau 28. Résultats des mesures de la dérive relatifs à l'exposition de l'opérateur	76
Tableau 29. Mesures de la dérive à distance de 4 m (risque pour l'opérateur).....	77
Tableau 30. Mesures de la dérive à distance de 6 m (risque pour l'environnement)	78
Tableau 31. Comparaison entre les types buses utilisées lors des essais en soufflerie	79

Chapitre V : Essai d'optimisation technique de la pulvérisation

Tableau 32. Présentation des sites d'expérimentation	85
Tableau 33. Couleurs, codes, tailles des gouttelettes et débits relatifs des buses.....	88
Tableau 34. Paramètres techniques de pulvérisation pendant l'essai	94
Tableau 35. Période de traitement et produits utilisées pour l'essai sur terrain	95
Tableau 36. Analyse quantitative des résultats des papiers hydro-sensible sur la culture de pommier (mélange des produits)	96
Tableau 37. Analyse quantitative des résultats des papiers hydro-sensible sur la culture de pommier par le Soufre	97
Tableau 38. Analyse quantitative des résultats des papiers hydro-sensible sur la culture de Blé.....	98

Liste des figures

Titre	Page
Chapitre I : Monographie de la région d'étude	
Figure 1 : Situation géographique de la Wilaya de Khenchela.	6
Figure 2 : Réseau hydrographique de la wilaya de Khenchela.	7
Figure 3 : Températures moyennes de la wilaya durant la période 2013-2022.....	9
Figure 4 : précipitations moyennes annuelles durant la période 2013-2022.....	9
Figure 5 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région de « Khenchela » (2013-2022).	11
Figure 6. Climagramme d'EMBERGER pour la région d'étude "Khenchela" (2013- 2022)	12
Figure 7. Répartitions de l'arboriculture à noyaux et a pépins dans la wilaya de Khenchela.	13
Figure 8 : Evolution de culture de pommier en Khenchela (DSA, 2022).....	14
Figure 9. Situation géographique des sites d'études dans la wilaya de Khenchela...	16
Chapitre II : Diagnostique des pratique phytosanitaire	
Figure 10. Réalisation de l'enquête avec les agricultures dans les sites d'études	19
Figure 11. Répartition des superficies des exploitations investigués	21
Figure 12. Cultures pratiquées par les agriculteurs enquêtés	21
Figure 13. Répartitions des agriculteurs en fonction des critères des choix des pesticides	24
Figure 14. Stockage des pesticides	25
Figure 15. Types d'équipements de protection individuelle utilisés par les agriculteurs enquêtés.....	28
Figure 16. Un agriculteur pendant le traitement sans équipement de protection individuelle	28
Figure 17. Taux d'utilisation des différents types de pesticides dans les fermes enquêtés	29
Chapitre III : Evaluation des risques d'exposition aux pesticides dans les sites d'étude	
Figure 18. Répartition des papiers hydro-sensibles sur le corps de l'opérateur.....	40
Figure 19. L'opérateur pendant la préparation et l'application du produit sur pommier	40

Figure 20. Modèle du pulvérisateur et la buse à turbulence	41
Figure 21. Nombre des dépôts par cm ² sur les papiers hydro-sensibles	54

Chapitre IV : Evaluation des risques de dérive

Figure 22. Vue extérieure de la soufflerie aérodynamique de l'INRGREF-Tunis.....	65
Figure 23. Caractéristiques générales des différents compartiments de la soufflerie aérodynamique de l'INRGREF-Tunis.....	66
Figure 24. Vue de la cuve de pulvérisation et de la boîte de contrôle des facteurs climatiques	67
Figure 25. Un essai avec une rampe immobile pendant 10 secondes	67
Figure 26. Buses de pulvérisation utilisées lors des essais en soufflerie aérodynamique	68
Figure 27. Boîte de contrôle et de réglage de la pression, vitesse d'avancement, humidité et température dans la soufflerie	68
Figure 28. Placement des dispositifs d'accrochage des papiers hydro-sensible dans soufflerie aérodynamique	69
Figure 29. Mise des marques des hauteurs sur les dispositifs	69
Figure 30. Changement de buse et mesure de débit	70
Figure 31. Temps idéal pour appliquer les traitements	72
Figure 32. Relation entre la hauteur de la rampe et l'angle des buses	73
Figure 33. Taille des gouttelettes optimale pour un traitement idéal	74
Figure 34. Relation entre tailles des gouttelettes et taux de couverture	75
Figure 35. Dérive résultant de principaux types de buses	81

Chapitre V : Essai d'optimisation technique de la pulvérisation

Figure 36. Situation géographique de commune de Yabous	84
Figure 37. Zone d'étude (Téghaza) (Echelle 1/50 000)	84
Figure 38. Localisation géographique des sites expérimentaux	85
Figure 39. Répartitions des papiers hydro-sensible sur un champ de céréales et sur des arbres fruitiers	86
Figure 40. Schéma des bonnes pratiques agricoles et environnementales	89
Figure 41. Tracteur et pulvérisateur utilisés pour l'essai expérimental	91
Figure 42. Rampe et pistolet de pulvérisation utilisés en expérimentation	92
Figure 43. Buses utilisées pour l'essai expérimental	93

SOMMAIRE

Titres	Pages
Dédicace	
Remerciements	
Liste des tableau	
Liste des figures	
Introduction générale	1
Chapitre I : Monographie de la région d'étude	
Introduction	5
I. Situation géographique de la wilaya de Khenchela.....	5
II. Hydrographie de la wilaya de Khenchela.....	6
III. Géologie de la wilaya de Khenchela	7
IV. Facteur abiotique.....	7
V. Facteur climatique.....	8
A. Température	8
B. Précipitation	9
C. Vent	10
VI. Synthèse bioclimatique	10
A. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	10
B. Climagramme d'emberger	11
VII. Aperçu sur l'arboriculture et la céréaliculture a Khenchela	13
A. Arboriculture	13
B. Céréaliculture	15
VIII. Localisation et critère de choix des sites d'étude	15
Conclusion	16
Chapitre II : Diagnostique Des Pratiques Phytosanitaires	
Introduction	17
I. Méthodologie de travail	17
1. Choix des communes d'étude	17
2. Méthode de collecte des données sur terrain	18
A. Elaboration du questionnaire	18
B. Déroulement de l'enquête	18
C. Echantillonnage	19

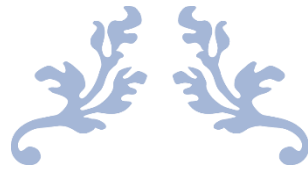
D Le dépouillement des informations et traitement statistique des données ...	20
E Identification et classification des matières actives recensées	20
II Résultats et discussions	20
1 Caractérisation socioprofessionnelle des exploitations investiguées.....	20
1.1. Superficies des exploitations.....	20
1.2. Cultures pratiquées dans l'exploitations investiguées	21
1.3. Niveau d'études des agriculteurs enquêtés	22
2 Caractérisation des pratiques phytosanitaires	22
2.1. Connaissance des agriculteurs sur les pesticides et la préparation de la bouillie	22
2.2. Critères de choix des pesticides.....	23
2.3. Stockage des pesticides	24
2.4. Disponibilité de matériel d'application des traitement phytosanitaires.....	25
2.5. Entretien des pulvérisateurs	26
2.6. Adoption des mesures de protection	27
2.7. Taux d'utilisation des pesticides	28
2.8. Type des pesticides utilisés	29
3. Identification des pesticides utilisés en céréaliculture et en arboriculture ...	29
Conclusion	34
 Chapitre III : Evaluation des risques d'exposition aux pesticides dans les sites d'étude	
Introduction	35
I Méthodologie de travail	35
1. Evaluation de la fréquence des traitements de la pression phytosanitaire.....	35
1. Présentation de l'indice des fréquences des traitement (IFT).....	35
1.1. La méthode de calcul de l'IFT.....	36
1.2. Principes généraux de calcule de l'IFT	36
1.3. Calcul de l'IFT.....	38
2. Modalité de calcule de l'IFT	39
3. Evaluation de l'exposition des opérateurs.....	39
3.1. Evaluation expérimentale de l'exposition des opérateurs.....	39
3.2. Evaluer l'exposition des opérateurs par modèle mathématique	41
4. Classification toxicologique des matières actives manipulées	42

II Résultats des discussions	42
1. Evaluation de l'impact environnemental de l'usage des produits phytosanitaires	42
1.1.Indicateur de fréquence des traitement phytosanitaires (IFT traitement).....	42
1.2.Calcul de l'IFT parcelles des sites d'étude par culture.....	48
2. Calcul de l'indice pression phytosanitaire (IPP)	51
3. Estimation de l'exposition des opérateurs	53
3.1. Evaluation expérimentale de l'exposition.....	53
3.2. Evaluation de l'exposition des opérateurs par modèle mathématique.....	55
4. Classification toxicologique des matières actives	60
5. Critique des pratiques phytosanitaires dans les sites d'études	62
Conclusion	64

Chapitre IV : Evaluation des risques de dérive

Introduction	65
I Méthodologie de travail	65
1. Essais effectués dans la soufflerie aérodynamique	65
1.1. Caractéristiques de la soufflerie aérodynamique de l'INRGREF -Tunis	65
1.2 Déroulement des essais en soufflerie aérodynamique.....	67
2 Evaluation de la dérive	71
2.1 Influence des condition météorologiques	71
2.2. Influence des paramètres de pulvérisation	72
2.2.1 Vitesse d'avancement.....	72
2.2.2 Choix de la buse	72
2.2.3. Auteur de pulvérisation	73
2.2.4. Pression de pulvérisation	73
2.2.5. Taille des gouttes	73
2.2.6. Nombres d'un impact	74
II Résultats et discussion	75
1. Evaluation d e risque de dérive pour l'opérateur	75
2. Evaluation de risque de dérive pour l'enivrement	77
2.1 Effet du type de buse sur la dérive	79
2.2 Effet de la vitesse du vent sur la dérive	79
2.3 Effet de la hauteur de la pulvérisation sur la dérive	79

2.4. Effet de la distance sur la dérive	80
2.5. Effet de la pression sur la dérive	80
2.6 Effet du calibre des buses sur la dérive	80
Conclusion	82
Chapitre V : Essai d'optimisation technique de la pulvérisation	
Introduction	83
I Méthodologie de travail	83
1. Présentation de la commune et des sites d'expérimentation	83
2. Préparation des essais expérimentaux	85
2.1. Usage des papiers hydro-sensible	85
2.2. Equipement de pulvérisateur	87
2.3. Réglage de pulvérisateur	87
3. Recommandations standards de références	88
4. Déroulement de l'essai expérimentale	90
II Résultats et discussion	91
1. Caractérisation des pratiques des pulvérisation phytosanitaires des agriculteurs	91
1.1. Analyses des équipements de pulvérisation	91
2. Evaluation des paramètres techniques de pulvérisation	93
2.1. Pression	93
2.2. Débit de pulvérisation	94
2.3 Hauteur de la rompe	94
2.4 Vitesse d'avancement	94
3. Evaluation comparative des dépôts de pulvérisation	95
Conclusion	99
Conclusion générale	100
Référence bibliographique	103
Liste de production scientifique	
Annexes	
Résumés	



INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, les produits phytosanitaires ont été largement utilisés dans le secteur agricole dans le but d'améliorer les rendements de production et de protéger les plantes tout au long de leur croissance contre les effets néfastes des ravageurs des animaux et des plantes, qui peuvent entraîner des pertes économiques importantes pour une exploitation, une région ou un pays (Louchahi, 2015).

Ainsi, depuis l'avènement de la révolution verte et l'intensification de l'agriculture, les produits phytopharmaceutiques sont devenus un pilier stratégique de la production agricole mondiale. Cette transformation technologique a profondément modifié les pratiques agronomiques, promettant des rendements plus élevés et une protection phytosanitaire renforcée contre les nombreuses menaces qui pèsent sur les cultures (Pingali, 2012).

Un pesticide est défini comme toute substance ou mélange de substances destiné à repousser, détruire ou contrôler les ravageurs (y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales) et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux qui causent des dommages au cours de la production, de la transformation, du stockage, du transport ou de la commercialisation des denrées alimentaires (FAO, 2003). Cette définition technique masque cependant la complexité des enjeux environnementaux, sanitaires et économiques associés à leur utilisation (Bourguet & Guillemaud, 2016).

Sur le plan environnemental, les pesticides représentent une menace significative pour la biodiversité. Plusieurs études ont mis en évidence leur contribution à l'érosion des populations d'insectes pollinisateurs et à la contamination des sols et des ressources hydriques (Goulson et *al.*, 2015). Du point de vue sanitaire, l'exposition chronique à ces substances est associée à des risques accrus de pathologies neurologiques, cancéreuses et métaboliques (Mostafalou & Abdollahi, 2017).

En Algérie, comme dans d'autres pays du monde, la lutte chimique à l'aide de pesticides reste la méthode la plus répandue pour protéger les cultures. Cette approche a pour effet de réduire les pertes de récoltes en protégeant les plantes contre les ravageurs, en limitant les attaques de ces derniers et en réduisant la concurrence des mauvaises herbes (Tanor, 2008).

L'Algérie, comme de nombreux pays en développement, a eu recours aux traitements phytosanitaires de manière ascendante. Selon les données du ministère de l'Agriculture, les

volumes de pesticides utilisés ont augmenté de 45% entre 2005 et 2015, ce qui confirme une intensification des pratiques agricoles (Ouaer & Hamdi, 2018).

selon Bouziani (2007), l'utilisation des pesticides à des fins agricoles est de plus en plus répandue en Algérie, reflétant l'expansion des zones cultivées. Environ 400 substances actives pesticides, dont environ 7 000 spécialités, sont commercialisées annuellement. Ces substances sont des outils essentiels pour les agriculteurs, car elles assurent la rentabilité de la plupart de leurs cultures.

Les pesticides sont utilisés dans les pays en développement en quantités qui dépassent les limites recommandées ou sont appliqués de manière inappropriée. Ces pratiques entraînent inévitablement l'accumulation de résidus qui peuvent constituer un risque pour la santé humaine et l'environnement (Pesticide Action Network, 2005).

En ce qui concerne la santé des individus, les études toxicologiques indiquent que l'utilisation des pesticides comporte des risques pour l'applicateur et pour les consommateurs des produits végétaux traités, en raison de leur persistance sous forme de résidus. Des intoxications aiguës et des effets chroniques dus à l'exposition répétée à de petites quantités dans le temps ont été observés dans le monde entier (Tanor, 2008).

Une étude menée par Guettala (2009) sur une période de trois ans s'est intéressé à l'entomofaune d'un verger de pommiers dans la région des Aurès en Algérie en analysant sa composition, sa distribution spatio-temporelle et son organisation trophique, avec une attention particulière sur le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*). Ces travaux ont permis d'examiner le rôle potentiel des composés phénoliques (flavonoïdes) extraits des feuilles de pommier dans la mortalité du puceron cendré, en vue d'identifier des stratégies alternatives aux traitements chimiques, constituant un domaine d'investigation important. L'objectif était d'améliorer les rendements de la production de pommes dans cette région en proposant des méthodes de lutte plus durables et plus respectueuses de l'environnement.

À propos de la contamination des sols et des eaux par les pesticides dans la région des Zibans, un bassin agricole caractérisé par l'utilisation intensive de serres pour les cultures maraîchères. La recherche réalisée par Bettiche (2017) utilise une approche mixte, intégrant des enquêtes auprès des agriculteurs sur leurs pratiques d'utilisation phytosanitaire (types de pesticides, quantités, fréquence d'application) et des analyses chimiques du sol et de l'eau pour détecter la présence de résidus de pesticides. Les résultats facilitent la comparaison entre les données fournies par les agriculteurs et les concentrations réelles mesurées, ce qui permet

d'évaluer le niveau de contamination, d'identifier les pesticides les plus problématiques et de comprendre leur devenir dans l'environnement. L'objectif final est de faciliter une gestion plus efficace des risques liés à l'utilisation des pesticides dans ce contexte agricole particulier.

L'étude de Soudani (2022) évalue les risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des produits phytosanitaires dans les cultures maraîchères de la région de Biskra. L'étude, menée auprès des maraîchers des communes d'Ain Naga et de Doucen, utilise une combinaison d'enquêtes et d'indicateurs (IFT, IPP, GUS, PERI) pour quantifier la pression phytosanitaire et analyser les pratiques agricoles. Elle identifie des déficiences dans la formation des agriculteurs et le stockage et l'application inappropriés des pesticides, qui ont des implications négatives sur la santé humaine et la contamination potentielle du sol et de l'eau. Enfin, Soudani (2022) propose des recommandations pour une utilisation plus prudente des produits phytosanitaires et une meilleure gestion des risques.

La recherche de Guehilz (2023) examine l'impact des pesticides sur les cultures céréalières dans la région de Biskra, en mettant l'accent sur les pratiques agricoles. Elle s'est intéressée à la caractérisation des systèmes de production céréalier et ovin de la région en interaction avec l'utilisation de pesticides (y compris les types spécifiques, la fréquence et les doses employées) et l'impact de cette utilisation sur la santé des ovins. Cet impact est évalué par la mesure de la butyrylcholinestérase sanguine. Cette recherche utilise une approche multi-méthodes, intégrant des enquêtes de terrain, des analyses statistiques et une évaluation de la pression phytosanitaire (IFT et IPP), afin de quantifier l'utilisation des pesticides et d'analyser leur impact sur l'environnement et la santé. L'objectif est d'évaluer le risque d'exposition aux pesticides pour les ovins et de proposer des stratégies pour des pratiques agricoles plus durables.

L'efficacité biologique des traitements phytosanitaires dépend de la dose (quantité de matière active ou de produit formulé appliqué par unité de longueur, de surface ou de volume traité), de facteurs physiques, tels que la taille des gouttes, le nombre d'impacts et le taux de couverture, des propriétés physico-chimiques des bouillies, de facteurs environnementaux et de facteurs biologiques tels que le taux d'infestation ou le stade de développement du parasite et de la culture. Sur base de la dose homologuée définie par les formulateurs en tenant compte des contraintes d'ordre biologique, technologique, économique et toxicologique, la dose appliquée est choisie en tenant compte des critères agronomiques et économiques. En fonction des conditions d'application, la dose est répartie de manière plus ou moins homogène, et donc

l'efficacité du traitement peut être variable. Une répartition hétérogène tend à diminuer l'efficacité du traitement de sorte qu'une plus haute dose est nécessaire pour obtenir l'efficacité maximale du traitement. Comme l'efficacité biologique est en général hautement corrélée à l'uniformité de la répartition, une meilleure maîtrise du processus d'application est nécessaire afin de respecter précisément le taux d'application désiré (Guettala, 2009).

Le défi contemporain de la recherche scientifique est d'assurer la mise en œuvre de pratiques agricoles durables, raisonnées et respectueuses de l'environnement. Il est donc impératif d'identifier et de mettre en œuvre toutes les alternatives disponibles qui permettront de contrôler plus efficacement l'application des produits phytopharmaceutiques. L'objectif du processus de pulvérisation agricole est donc d'assurer l'efficacité biologique optimale du traitement, en tenant compte des contraintes liées aux aspects techniques et aux considérations économiques.

Dans ce contexte, la maîtrise des techniques d'application des produits phytopharmaceutiques peut contribuer à la réduction de leur impact négatif sur l'environnement et la santé publique. Cela peut justifier la recherche des conditions techniques optimales applicables aux conditions locales, dans le but d'optimiser et de rationaliser les traitements phytosanitaires. À la lumière des considérations susmentionnées, nous nous efforçons d'aborder la question des risques sanitaires associés aux pratiques phytosanitaires en évaluant l'exposition des applicateurs de produits phytosanitaires dans l'une des principales communautés agricoles de la région d'étude.

L'objectif principal de la présente proposition est d'établir une corrélation entre les pratiques phytosanitaires des agriculteurs et les conditions techniques nécessaires à un traitement phytosanitaire optimal, conformément aux normes de bonne application. Identifier des stratégies de lutte chimique adaptées au contexte local et de minimiser les risques liés à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques.



CHAPITRE I : MONOGRAPHIE DE LA REGION D'ETUDE



Introduction

L'agriculture algérienne, à l'image de son territoire, se caractérise par une grande diversité en matière de systèmes de production, d'irrigation et de modes d'exploitation des terres. Cette hétérogénéité rend la gestion du secteur complexe à différentes échelles.

Ce secteur stratégique fait face à plusieurs défis majeurs : assurer la souveraineté alimentaire en augmentant durablement la production agricole, tout en préservant les ressources naturelles et en s'adaptant aux effets du changement climatique. Par ailleurs, il joue un rôle clé dans le renforcement de l'économie nationale et le développement des territoires ruraux.

Dans la wilaya de Khenchela, l'agriculture constitue le pilier principal de l'activité économique. Ses principaux atouts résident dans l'élevage ovin et bovin, les cultures céréalières et arboricoles, ainsi que dans la production d'aliments pour le bétail et les pépinières agricoles.

Ce premier chapitre présente une analyse détaillée de la région d'étude en s'intéressant à ses caractéristiques géographiques, hydrologiques et climatiques. L'objectif est de mettre en lumière les potentialités agricoles de Khenchela et les conditions environnementales influençant la production.

I- Situation géographique de la wilaya de Khenchela

La région de Khenchela est située au l'Est de l'Algérie, au Sud-Est du bassin versant du Constantinois ; et au contrefort du mont des Aurès entre 34°06'36" et 35°4'21" latitudes Nord ; et entre 06°34'12" et 07°35'56" de longitudes Est. Elle s'étend sur une superficie de 9.715 Km². (Khabthane, 2010). Elle est limitée géographiquement au Nord par la wilaya d'Oum El Bouaghi, au Sud par la wilaya d'El Oued, à l'Est par celle de Tébessa à l'Ouest par la wilaya de Batna et au Sud-ouest par celle de Biskra (Khaldoun, 2014).

De par, de sa position géographique, la Wilaya de Khenchela est limitée par cinq (05) Wilayas, dont les liens demeurent très étroits dans tous les domaines de l'activité économique et sociale, elle constitue également, un trait d'union non moins appréciable entre le Nord/ Est et le Sud du pays. Elle se trouve ainsi, située aux portes des grandes villes du Sud et non éloignée des villes métropoles du Nord.

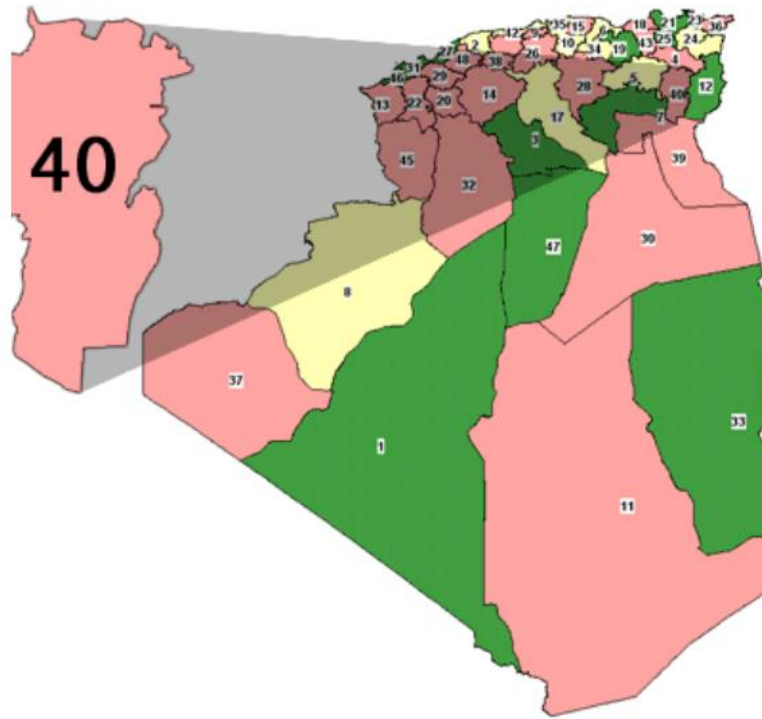


Figure 1 : Situation géographique de la Wilaya de Khenchela¹.

II- Hydrographie de la wilaya de Khenchela

Le réseau hydrographique dans cette région est plutôt dense à sec certains jours de l'année.

- Les oueds qui coulent au nord (oued Baghai, Oued Kais et Oued Tamza.....)
- Les oueds qui coulent au sud et se jettent dans les chotts (oued- EL-Abiod, oued- El -Arab, oued Bidjer). (Khaldoun, 2014).

Quant aux eaux souterraines de la région de Khenchela, elles se divisent en 3 couches principales

- Dans les hautes plaines et dans le nord.
- Au milieu, il n'y a pas moins de 192 puits.
- Dans la région sud, les eaux souterraines sont considérées comme inexploitées. Quant aux steppes et au désert, sa superficie est estimée à 49% et couvre la moitié sud de la wilaya. (Khaldoun, 2014).

¹ [Notre Wilaya - Direction du Tourisme et de l'Artisanat Khenchela](#)

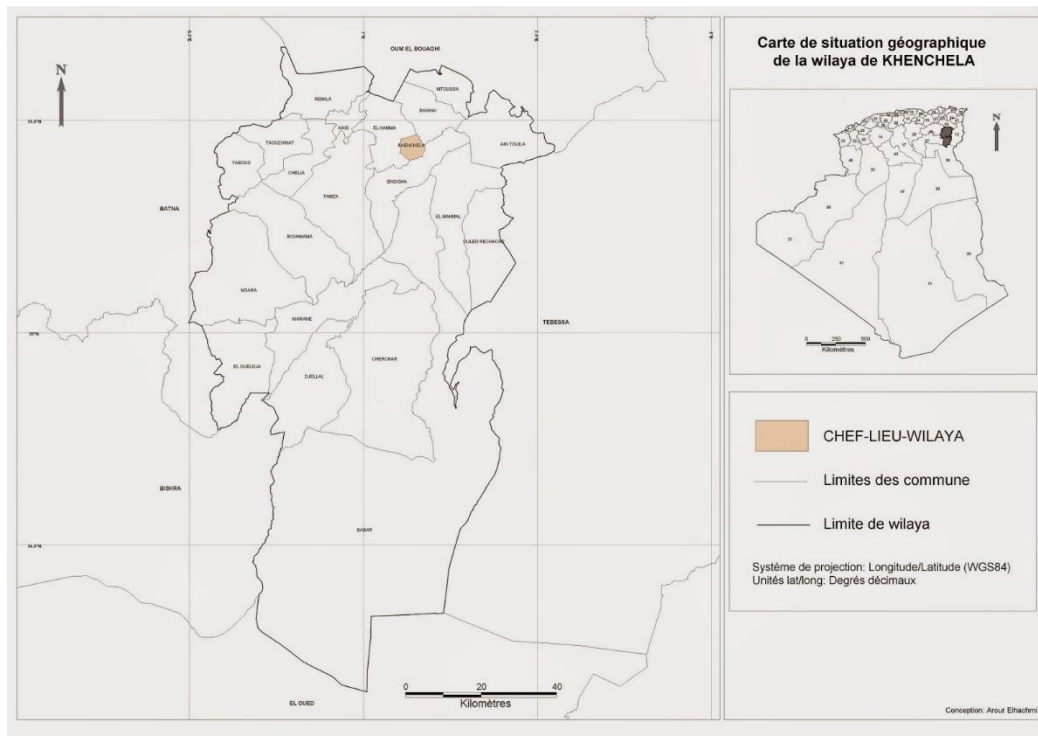


Figure 2 : Réseau hydrographique de la wilaya de Khenchela (ANDIA 2013).

III- Géologie de la wilaya de Khenchela

La structure physique de la wilaya est très hétérogène. Elle se caractérise par trois régions naturelles distinctes.

- Les hautes plaines couvrent environ 15% des terres du nord, où elles ont un fort potentiel hydrique, ce qui offre la possibilité d'un développement agricole.
- La zone montagneuse est estimée à 36% de la superficie de la wilaya et occupe la partie occidentale et centrale, dont les plus importantes sont les massifs Aurès et Nememchas
- Quant aux steppes et au désert, sa superficie est estimée à 49% et couvre la moitié sud de la wilaya.

IV- Facteur abiotique

a. Le relief

Le relief de la wilaya de Khenchela est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques.

- **Les montagnes** : elles sont localisées, essentiellement, dans la zone ouest de la wilaya (les Aurès), dans la zone centrale (les monts des Nememchas) et au nord-est (Ain Touila).
- **Les plateaux** : ils sont situés au nord-est (plateau de Ouled Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et de Ouled Rechache.

- **Les plaines** : elles sont situées au nord et nord-ouest de la wilaya et comprennent les plaines de Remila, Bouhmama et M'toussa.
- **Les parcours steppiques** : ils sont situés dans la partie méridionale de la wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et la présence de chotts. Ces derniers constituent le point de convergence exutoire des oueds drainant le sud de la wilaya. (ANIREF, 2021).

V- Facteur climatique

La région de Khenchela reçoit environ 500 mm de précipitations par an. Toutefois, la répartition des précipitations est irrégulière, se produisant sur une période relativement courte, et l'évaporation est souvent élevée. L'été est pratiquement sec, de juin à septembre, avec seulement quelques orages. Les précipitations maximales ont lieu en hiver et au printemps (mars est le mois le plus humide et juillet le plus sec) (Nouadi et Merouche, 2013).

Pour étudier le climat de la zone d'étude, nous avons exploité des données recueillies au niveau de la station météorologique d'El Hamma gérée par l'office national de la météorologie, et dont la période d'observation va de 2013 à 2022. Ces données ont servi pour l'évaluation des facteurs du bilan. Cette station est située selon les coordonnées suivantes :

Tableau 1 : Les coordonnées de la station météorologique d'El Hamma

Coordonné	Latitude	Longitude	Altitude	Période d'observation
Station ONM (El-Hamma)	7°05'E	35°28'N	928.5 m	2013-2022

a. Température

La température est l'un des éléments importants du climat, elle a une action majeure sur le fonctionnement et la multiplication des végétaux (Marir et *al.*, 2012).

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces de communautés d'être vivant dans la présentation de la zone d'étude.

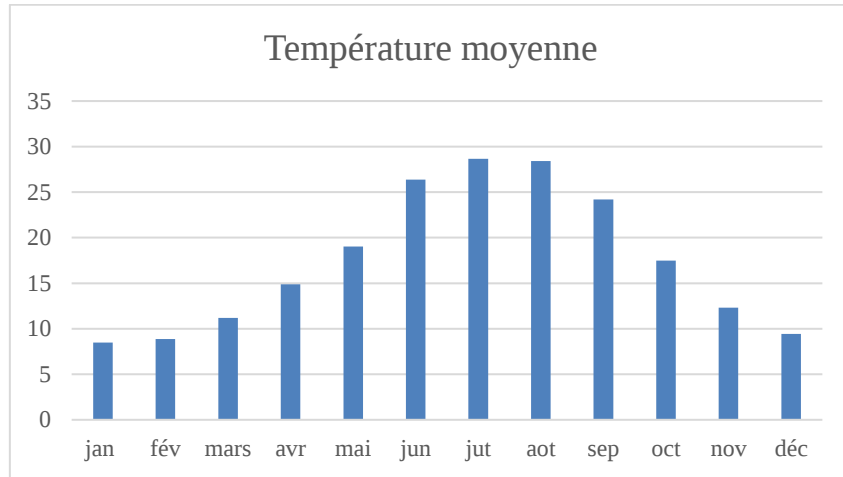


Figure 3 : Températures moyennes de la wilaya durant la période 2013-2022 (O.N.M., 2023)

b. Précipitation

La concordance relativement étroite existante entre la pluviosité générale et la repartition des grandes biocénoses, suffit à démontrer l'importance du facteur eau sur la localisation des êtres vivants. Mais cette relation est aussi fortement reconnaissable à l'échelle régionale, locale ou stationnelle (Beghami, 2013).

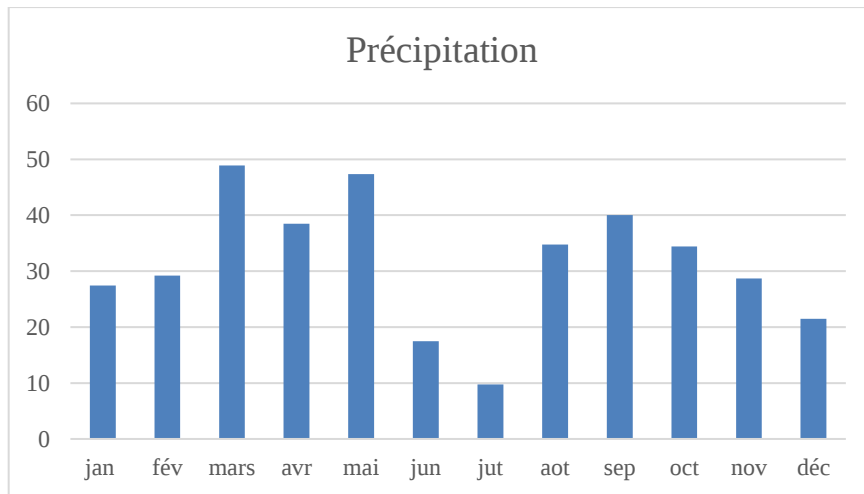


Figure 4 : précipitations moyennes annuelles durant la période 2013-2022 (O.N.M., 2023).

L'examen des données montre que ; Le mois le plus pluvieux est Mars avec 48.91 mm, alors que le mois le plus sec est juillet (9.75 mm).

c. Vent

Le vent est un facteur météorologique non négligeable, qui se caractérise par sa fréquence, son intensité et sa direction dominante (Marir et *al.*, 2012).

Le vent est un déplacement d'air à peu près horizontalement qui agit surtout sur la pluviométrie, l'évaporation, la température et l'humidité de l'air, il est donc un élément déterminant pour le climat.

Tableau 2 : Vitesse moyenne des vents durant la période 2013-2022 (O.N.M., 2023).

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Vent km/h	20,5	21,1	23,4	21,9	21,1	20,9	19,2	18,5	18,2	17,3	19,6	17,4

La vitesse moyenne annuelle des vents dans la région de Khenchela est maximale au mois de Mars et minimale au mois d'Octobre. Il est à craindre durant le mois de Avril à Septembre la manifestation du sirocco qui est un vent chaud et sec qui favorise l'évapotranspiration causant ainsi de sérieux dégâts aux végétaux et influant les traitements phytosanitaires.

VI- Synthèse bioclimatique

a. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Ce diagramme est une méthode graphique à travers laquelle nous pouvons définir la période sèche de l'année pour pouvoir éventuellement combler le déficit hydrique.

Les mois sont portés en abscisse, les précipitations (P) en ordonnées à droite et à gauche les températures (T) à une échelle double de celle des précipitations ($P = 2T$).

La période sèche de la région de Khenchela s'étale du mois de Mai au mois d'Octobre.

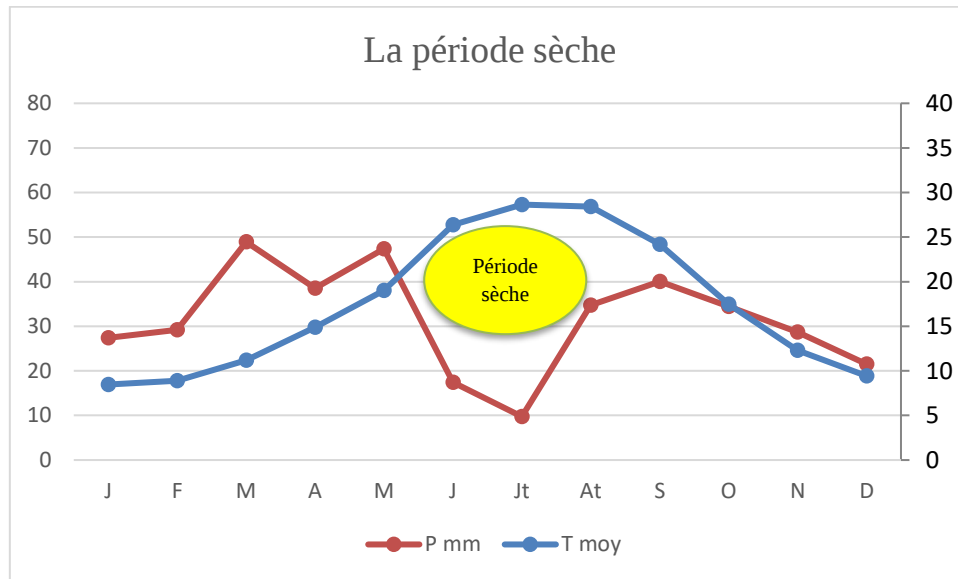


Figure 5 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région de Khenchela (2013-2022).

b. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q) spécifique au climat méditerranéen permet de situer l'étage bioclimatique de la zone d'étude. Le quotient pluviométrique est un rapport entre les précipitations et les températures moyennes annuelles (Marir et al., 2012).

Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$Q = 3,43 \cdot \frac{P}{(M - m)}$$

Avec :

Q : quotient pluviométrique en mm/°C.

3,43 : constante relative.

M : température maximale du mois le plus chaud en °C.

m : température minimale du mois le plus froid en °C.

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm

D'après les données climatiques de Khenchela, pour la période qui s'étale de 2013 à 2022 nous avons :

P (2013- 2022) = 378 mm

M (2013-2022) = 32.68°C.

m (2013-2022) = 4.67°C.

$$Q = 3,43 \cdot \frac{378}{(32,68 - 4,67)} = 46,3$$

La valeur obtenue pour Q est de 46.3 mm/°C, la région de Khenchela est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride (figure 6).

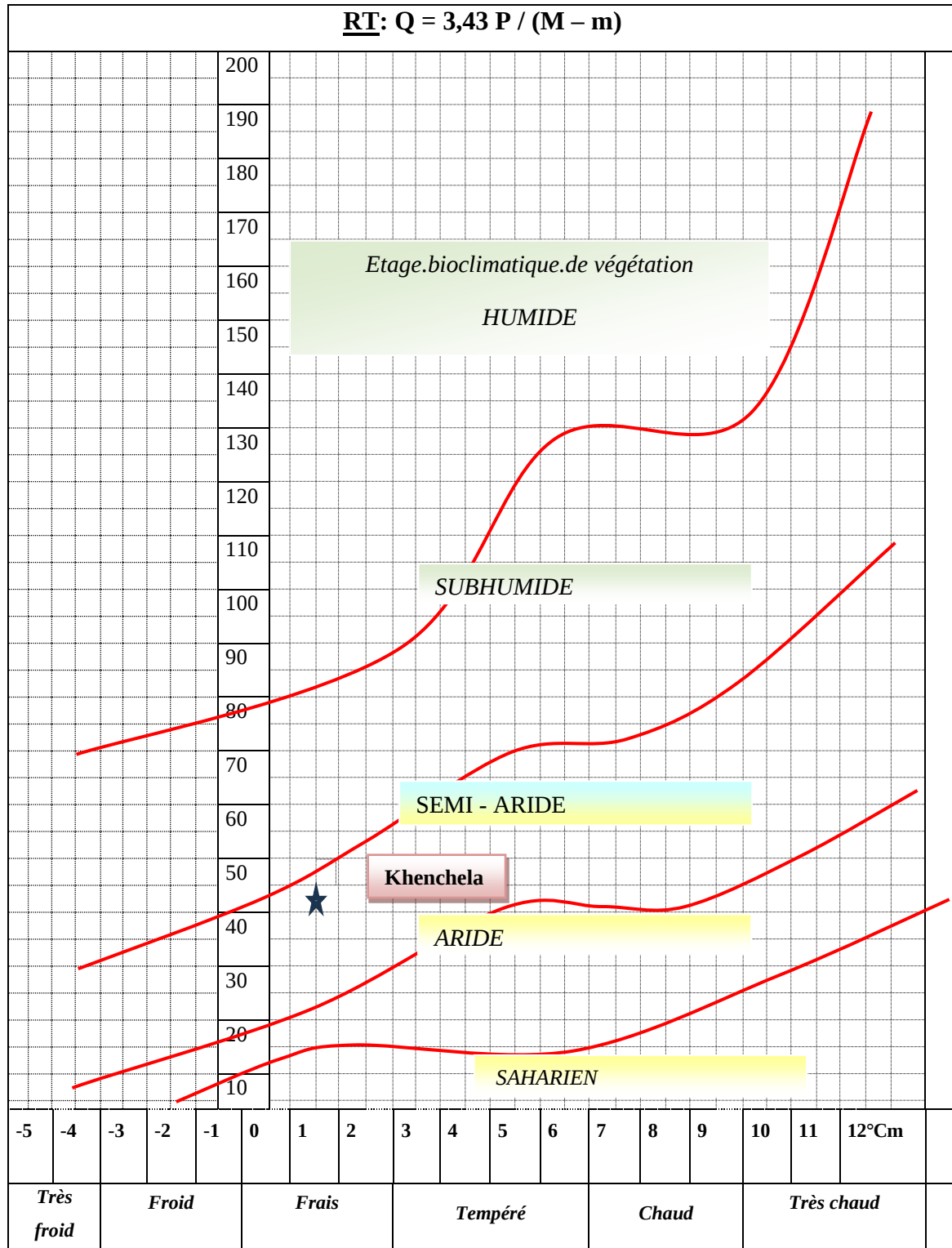


Figure 6. Climagramme d'EMBERGER pour la région d'étude "Khenchela" (2013- 2022)

VII- Aperçu sur l'arboriculture et la céréaliculture à Khenchela

a. Arboriculture

L'arboriculture est la plus importante filière agricole au niveau de la wilaya de Khenchela car elle représente plus de 50 % de la valeur de la production. Notamment l'espèce pommier constitue une activité lucrative importante et participe par 25 % de la production nationale, cette culture occupe 13.705 ha à travers la wilaya (D.S.A., 2022).

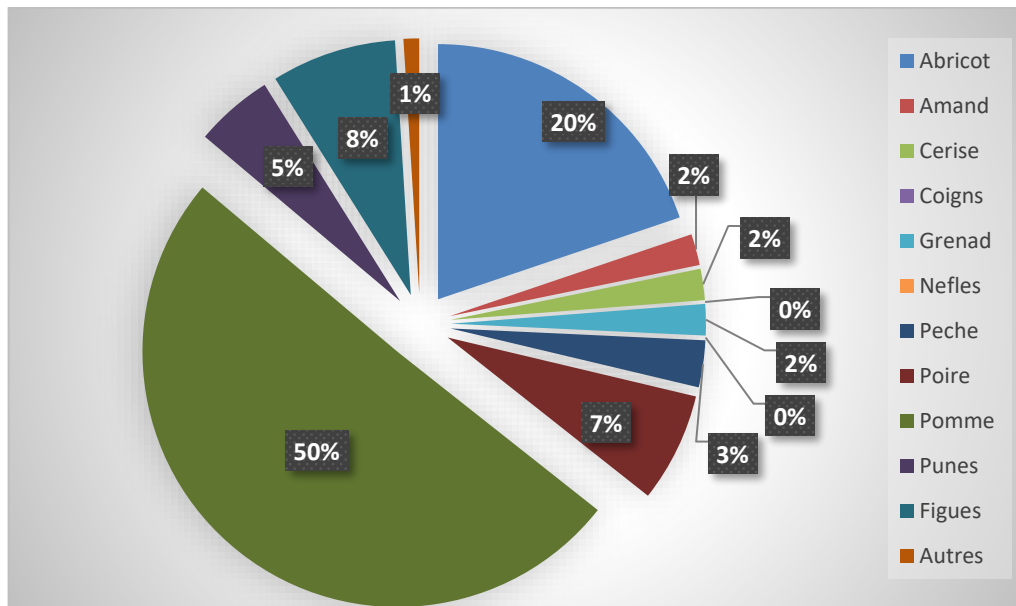


Figure 7. Répartition de l'arboriculture à noyaux et à pépins dans la wilaya de Khenchela (D.S.A., 2022).

La superficie plantée en pommiers dans la wilaya de Khenchela a diminué, passant de 6046 ha en 2011 à 5960 ha en 2021. Il est évident que les rendements et la production restent faibles et fluctuent à travers la wilaya (tableau 3). Cela peut être attribué, au moins en partie, à l'impact des ravageurs du pommier, qui sont mal contrôlés dans cette région en raison d'un certain nombre de causes, y compris l'utilisation non raisonnée des pesticides (D.S.A., 2022).

Le faible rendement indiqué sur le tableau 3, peut être attribué à un certain nombre de facteurs.

- ✓ La non-assimilation des techniques modernes de l'arboriculture algérienne, telles que la taille.
- ✓ L'utilisation incontrôlée de porte-greffes et de variétés.
- ✓ En outre, le manque de connaissances concernant l'application des techniques de production, telles que la fertilisation, l'entretien du sol et les traitements phytosanitaires. Dans la région d'étude, ces techniques ne sont pas employées conformément aux normes modernes de culture.

Tableau 3. Evolution de l'arboriculture à Khenchela (D.S.A., 2022).

Année	Khenchela		
	Superficie total (ha)	Superficie en rapport	Rendement (T/ha)
2011/2012	6046	4043	44
2012/2013	6163	4263	40
2013/2014	6194	4263	56
2014/2015	6378	4947	68
2015/2016	6660	5313	156
2016/2017	6700	5400	166
2017/2018	5264	4136	314
2018/2019	6000	4200	360
2019/2020	6007	4829	310
2020/2021	5960	4752	356

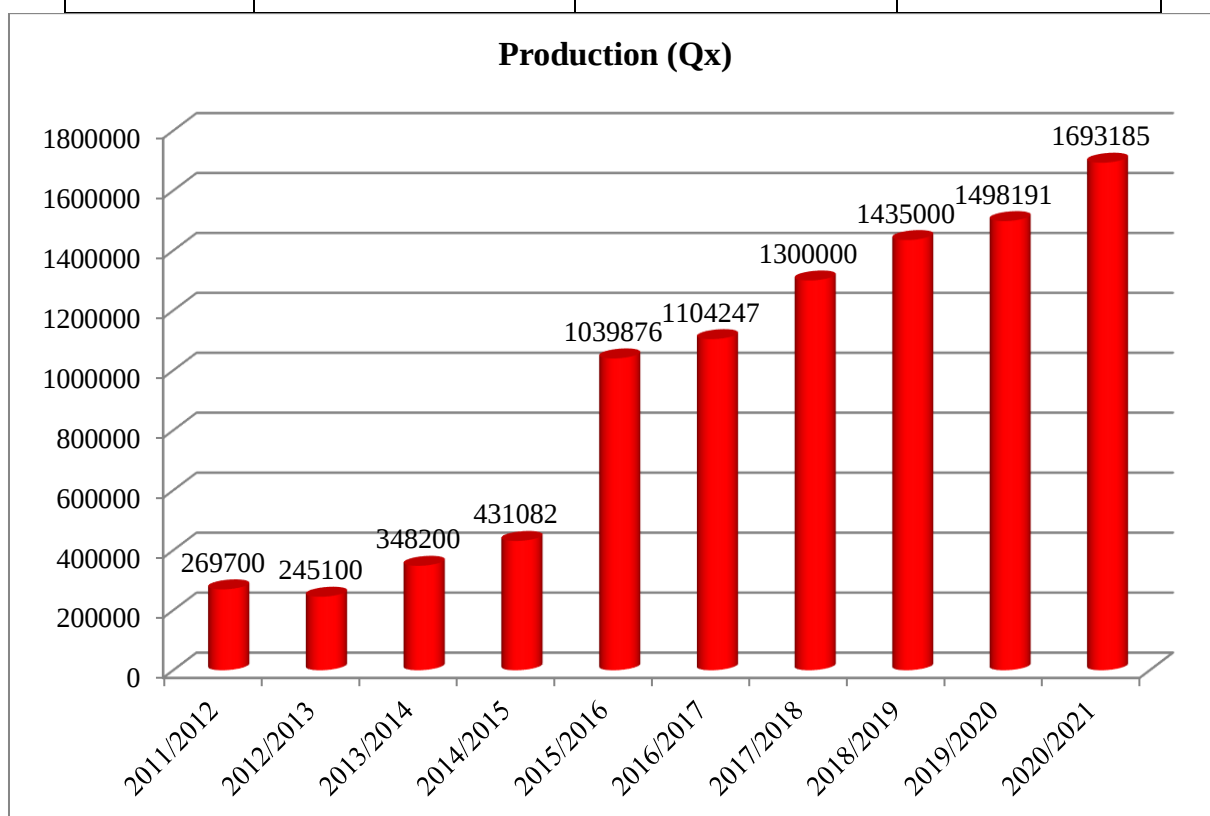


Figure 8 : Evolution de la culture de pommier à Khenchela (D.S.A., 2022).

b. Céréaliculture

Les équipes techniques spécialisées de la DSA de Khenchela ont conclu, suite aux visites et inspections des différentes zones agricoles à travers 21 communes, que la production a atteint 1 million 400 000 quintaux de céréales au cours de la campagne agricole (2021-2022) (D.S.A., 2023)

Selon la D.S.A. (2022), la quantité de blé dur produite est d'environ 750 000 quintaux, soit plus de 50 % de la production globale prévue pour la campagne (2021-2022). Le reste de la production se répartit entre 150 000 quintaux de blé tendre et 500 000 quintaux d'orge.

Toutes les conditions nécessaires au bon déroulement de la campagne de moisson-battage ont étaient réunies avec la mobilisation de plus de 120 moissonneurs, en plus de ceux des wilayas voisines, et la réservation de centres de collecte et de structures pour la Coopérative locale des céréales et des légumes secs (CCLS), avec une capacité théorique de stockage de plus de 600.000 qx. La valeur de la production agricole de la filière céréalière dans la wilaya de Khenchela durant la campagne agricole a été estimée à 4,3 milliards de DA, alors que la valeur de la production agricole des fourrages transformés pour le pâturage du bétail a été estimée à 1,8 milliards de DA (D.S.A., 2022).

VIII- Localisation et critère de choix des sites d'étude

Les communes de Bouhmama (située dans la région nord-ouest de la wilaya), Kais (dans la région nord-ouest du chef-lieu de wilaya) et Chechar (dans le sud de la wilaya) ont été choisies comme lieux d'investigation pour les besoins de cette étude. Ces communes représentent les principales zones de production de pommier et de céréales pour un nombre important de marchés nationaux et internationaux, ainsi que pour l'utilisation de produits phytosanitaires au cours de la production.

L'étude a été menée de manière accessible et pratique, les informations nécessaires étant facilement disponibles. Un minimum de perturbations pour le travail sur le terrain. En outre, l'agriculteur a donné son accord pour que l'étude soit menée sur ses terres.

Les caractéristiques écologiques de la région ont également été prises en compte. Les fermes étudiées présentaient différents types de cultures, notamment des céréales, des pommiers et des légumes. La présence de ravageurs et la mise en œuvre de pratiques phytosanitaires ont été prises en compte.



Figure 9. Situation géographique des sites d'études dans la wilaya de Khenchela (google maps, 2024)

Conclusion

L'analyse de la situation géographique et des caractéristiques environnementales de la wilaya de Khenchela met en évidence son rôle clé dans l'équilibre entre les zones montagneuses du Nord et les steppes du Sud. Sa diversité géologique et climatique offre des opportunités pour l'agriculture, notamment dans la culture du pommier et des céréales, tout en posant des défis liés à la gestion des ressources en eau et aux conditions climatiques semi-arides. La compréhension de ces facteurs est essentielle pour une gestion durable des terres et le développement de pratiques agricoles adaptées aux spécificités locales.



***CHAPITRE II : DIAGNOSTIQUE
DES PRATIQUES
PHYTOSANITAIRES***



Introduction

La protection des cultures repose largement sur l'utilisation des pesticides, qui jouent un rôle clé dans la lutte contre les ravageurs et les maladies. Cependant, leur emploi soulève des enjeux majeurs liés à la santé humaine, à l'environnement et à la durabilité des systèmes agricoles. Dans ce contexte, il est essentiel d'examiner les pratiques phytosanitaires des agriculteurs, notamment en ce qui concerne le choix des produits, leur application, la gestion du matériel et le respect des normes de sécurité. Notre étude s'intéresse ainsi aux pratiques en vigueur dans la wilaya de Khenchela (Nord-Est de l'Algérie), afin d'identifier les défis et les axes d'amélioration pour une utilisation plus raisonnée des pesticides.

Le présent chapitre examine les caractéristiques générales des exploitations agricoles ainsi que les pratiques agricoles et phytosanitaires adoptées dans la région d'étude. Il dresse un état des lieux des techniques utilisées dans la culture du pommier et des céréales, en mettant en évidence les dynamiques actuelles et les éventuelles lacunes. Les résultats des enquêtes de terrain menées auprès des agriculteurs sont analysés afin de caractériser les pratiques phytosanitaires locales et de recueillir les données nécessaires pour la suite des travaux de la thèse.

I. Méthodologie de travail

1. Choix des communes d'étude

Nos investigations ont été menées dans trois daïras de la région de Khenchela, (Bouhmama, Kais et Baber) connues par leurs potentialités en arboricultures et/ou en céréalicultures. Nous avons sélectionné une zone montagneuse englobant les communes de (Bouhmama, M'sara, Chelia et Yabous), une zone saharienne couvrant les communes de (Ougla Baara et El-Mayta) et une zone périphérique dans les communes de (Kais, Remila et Taouzient) (tab 4).

Le choix de ces communes repose sur les critères de l'intensification de la culture du pommier et des céréales au niveau des daïras sélectionnées, l'accessibilité au terrain et l'usage intensif des traitements phytosanitaires.

Tableau 4. Coordonnées des communes d'études.

Daïra	Commune	Coordonnées	Spécificités
Bouhmama	Bouhmama	35°19'13''N; 6°44'48''E	Champs de céréaliculture et arboriculture en zone montagneuse
	Chelia	35°22'43''N; 6°46'58''E	
	M'sra	35°14'58''N; 6°34'46''E	
	Yabous	35°25'36''N; 6°40'36''E	
Kais	Kais	35°30'23''N; 6°55'31''E	Champs de céréaliculture en zone périphérique
	Remila	35°34'19''N; 6°53'53''E	
	Taouzient	35°28'34''N; 6°39'03''E	
Baber	Ougla Baara	34°31'38''N; 6°53'54''E	Champs de céréaliculture en zone saharienne
	El-Mayta	34°29'03''N; 7°03'01''E	

2. Méthode de collecte des données sur terrain

a. Elaboration du questionnaire

L'enquête a été réalisée à l'aide d'un questionnaire spécialement conçu pour les besoins de l'étude, sous forme de formulaire contenant des questions destinées aux agriculteurs des différentes communes de la région d'étude. Il comprenait un total de cent-deux (102) questions simples que les participants pouvaient comprendre et auxquelles ils pouvaient répondre sans ambiguïté. Les questions étaient de type ouvert, semi-ouvert et fermé.

Les réponses au questionnaire étaient structurées selon quatre modèles :

- ✓ (1) Oui ou Non ;
- ✓ (2) Jamais, Toujours, Parfois ;
- ✓ (3) Réponses à choix multiples ;
- ✓ (4) Réponses par des noms des mots ou par des chiffres.

Au cours de l'enquête, la communication s'est faite dans la langue arabe locale. Les informations demandées ont porté sur les facteurs socioprofessionnels des agriculteurs et leurs exploitations, les pratiques phytosanitaires, l'équipement de traitement, et les produits phytosanitaires utilisés.

b. Déroulement de l'enquête

Les visites au niveau des exploitations agricoles à investiguer ont été faites de façon aléatoire. L'enquête s'est étalée sur une période de 15 mois (de Janvier 2020 à Mars 2021).

Les agriculteurs ont été interrogés dans leurs champs selon leurs disponibilités, individuellement et directement. Cependant, en raison des contraintes de temps et de la crainte de perturber leur travail quotidien, nous avons demandé leur autorisation à l'avance.



Figure 10. Réalisation de l'enquête avec les agriculteurs dans les sites d'étude (original,2020).

c. Echantillonnage

Un échantillonnage aléatoire stratifiée des enquêtées a été réalisé en se basant sur les listes nominatives des agriculteurs obtenues auprès de la direction des services agricoles de la wilaya de Khenchela (D.S.A., 2020).

La taille de l'échantillon ($n = 368$ producteurs de céréales et/ou de pommiers) de notre étude a été déterminé par la formule de Steven K. Thompson (2012). En considérant une prévalence ($P=50\%$), une marge d'erreur d'échantillonnage ($d=5\%$) et l'écart réduit ($Z=1,96$) lorsque le seuil de confiance accepté est de 95%.

La taille de l'échantillon est calculée selon la formule suivante :

$$n = \frac{N \times p (1 - p)}{[N - 1 \times (d^2 \div z^2)] + p (1 - p)}$$

L'effectif total ($N=8702$) agriculteurs sont enregistrés d'après la direction des services agricoles de la wilaya de Khenchela en 2020, comme indiqué sur (tab 5).

Tableau 5. Distribution des agriculteurs enquêtés dans les communes d'étude

Site d'étude	Nombre totale des agriculteurs (N)	Nombre des agriculteurs enquêtés (n)	Pourcentage des agriculteurs enquêtés (%)
Bouhmama	736	31	8.4
Yabous	1029	44	12
Chelia	663	28	7.6
M'sara	505	21	5.7
Kais	352	15	4.1
Remila	1487	63	17.1
Taouzient	912	38	10.3
Babar	3018	128	34.8
Total	8702	368	100

d. Le dépouillement des informations et traitement statistique des données

Les données collectées de nature qualitative et quantitative ont été codifiées en variables et modalités et saisies en vue d'un traitement statistique descriptif par Microsoft Excel 2019 et par le logiciel IBM SPSS (Statistical Package for Social Science) version 21.

e. Identification et classification des matières actives recensées

L'identification et la classification des matières actives des produits utilisés par les agriculteurs de la région d'étude, en utilisant les noms commerciaux des pesticides recensés, s'est faite à l'aide de l'index des produits phytosanitaires à usage agricole (DPVCT, 2015 ; DPVCT, 2017) et la base de données des produits phytosanitaires de l'UIPAC (2020).

II. Résultats et discussions

1. Caractérisation socioprofessionnelle des exploitations investiguées

1.1. Superficies des exploitations

Afin de satisfaire la représentativité de l'environnement régional, les exploitations agricoles de notre étude sont de tailles différentes. Les surfaces des exploitations enquêtées varient de 1 ha à plus de 30 ha. Sur les 368 exploitations investiguées, 67 % ont une superficie de (1 - 10 ha), 19 % ont une superficie de (10 - 20 ha), 7 % ont une superficie de (20 - 30 ha) et 7 % ont une superficie de plus de 30 ha. Dans le sud de la région, les grandes exploitations

sont consacrées aux grandes cultures (céréales), tandis que l'arboriculture est pratiquée dans les régions montagneuses.

Les grandes exploitations agricoles sont louées par l'État (28,8%), et 71,2% sont des exploitations privées.

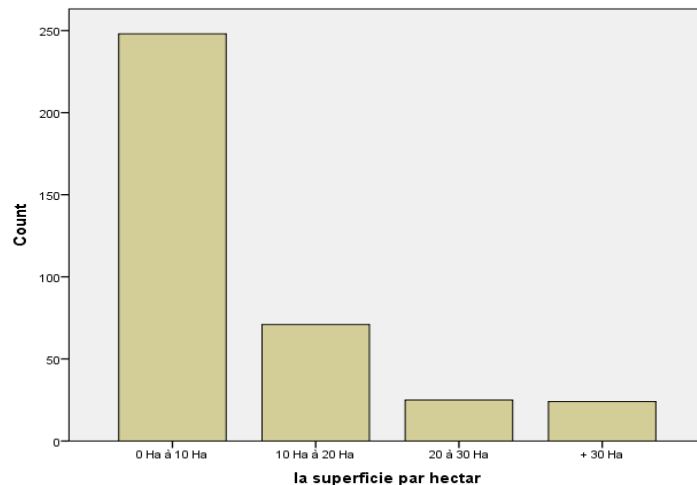


Figure 11 : Répartition des superficies des exploitations investiguées.

1.2.Cultures pratiquées dans les exploitations investiguées

Les filières concernées par cette enquête sont, la céréaliculture (52%), car il s'agit du premier pilier de l'agriculture de la région de Khenchela, et l'arboriculture (48%) car elle est la plus pratiquée sur la zone montagneuse. Les résultats obtenus par notre enquête ne sont pas en accord avec ceux obtenus par Guehiliz (2023), cette dernière témoigne que la majorité des agriculteurs des régions sahariennes combinent l'agriculture et l'élevage.

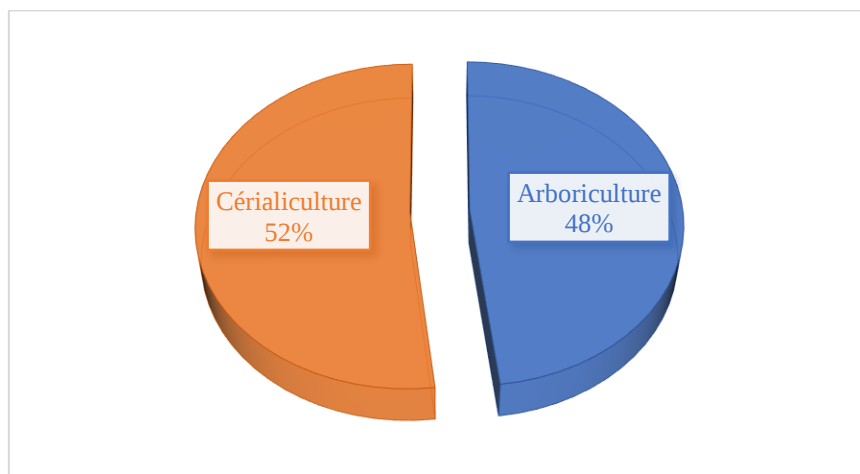


Figure 12. Cultures pratiquées par les agriculteurs enquêtés.

1.3. Niveau d'études des agriculteurs enquêtés

Les agriculteurs rencontrés et enquêtés sont en majorité de niveau Moyen (38.1%), 25,8% ont atteint le niveau d'études secondaires, 22% sont des agriculteurs qui n'ont reçu aucune instruction (niveau Analphabète) et seulement 2,7% sont des universitaires (tab 6). Néanmoins, les agriculteurs ayant un niveau d'éducation faible et/ou insuffisant sont les plus susceptibles d'éprouver des difficultés à lire correctement et à respecter les règles d'application des pesticides, ainsi qu'à comprendre les informations sur les risques figurant sur les étiquettes des produits (Jallow et al., 2017). C'est pourquoi, chaque agriculteur doit être à la fois conscient de la nature dangereuse des pesticides, et bien formé pour appliquer ces produits d'une manière plus sécurisée sur les cultures, afin d'éviter au maximum le risque d'intoxication et de pollution de l'environnement (Kanda et al., 2013 ; Wognin et al., 2014).

Tableau 6. Répartition des agriculteurs en fonction de leurs niveaux d'études.

Niveau d'études	Nombre des agriculteurs (n)	Pourcentage du total (%)
Analphabète	81	22
Primaire	38	10,3
Moyen	144	39,1
Lycée	95	25,8
Universitaire	10	2,7

2. Caractérisation des pratiques phytosanitaires

2.1. Connaissance des agriculteurs sur les pesticides et la préparation de la bouillie

Les agriculteurs enquêtés savent bien interpréter l'emballage des produits phytosanitaires (81,5%). A savoir, 49,2%, 35,9%, 33,7% et 28,5% des agriculteurs enquêtés respectivement, peuvent interpréter les signalétiques du danger, les indicateurs de la formulation, comprendre les indications des matières actives des produits et aussi peuvent interpréter les indications des doses homologuées sur l'emballage du produit (tab. 7).

D'autre part, seulement (7,1%) des producteurs peuvent déduire la quantité de produit à mettre dans la cuve et (10,6%) peuvent prendre soin de revoir l'état et le réglage du pulvérisateur.

La difficulté à lire les instructions d'utilisation et à appliquer des dosages précis peut s'expliquer par le faible niveau d'instruction et le manque de formation à l'utilisation des

pesticides des agriculteurs interrogés. Cela peut être dû à ce que les informations écrites sur les emballages sont majoritairement en langues étrangères (français, anglais) (Sa'ed et *al.*, 2010).

En outre, la majorité des agriculteurs n'ont pas reçu de formation professionnelle et n'ont donc pas les connaissances nécessaires sur les produits phytopharmaceutiques et leur utilisation en toute sécurité (Soudani, 2022).

Tableau 7. Connaissance des agriculteurs sur les pesticides.

Question		Fréquence des agriculteurs enquêtés (%)
Pouvez-vous caractériser l'emballage du produit à votre disposition ?	Oui	81,5
	Non	18,5
Pouvez-vous interpréter les signalétiques du danger observées sur l'emballage du produit ?	Oui	49,2
	Non	50,8
Pouvez-vous comprendre les indications sur la formulation du produit ?	Oui	35,9
	Non	64,1
Pouvez-vous comprendre les indications sur la matière active contenue dans le produit ?	Oui	33,7
	Non	66,3
Pouvez-vous interpréter les indications de dose prescrites ?	Oui	28,5
	Non	71,5
Pouvez-vous déduire la qualité du produit à mettre dans votre cuve ?	Oui	7,1
	Non	92,9
Pouvez-vous prendre soin de revoir l'état et le calibrage de votre pulvérisateur ?	Oui	10,6
	Non	89,4

2.2. Critères de choix des pesticides

Une enquête auprès de 21,5% des agriculteurs a révélé que 9% ont consulté la DSA, 7,1% ont demandé des conseils auprès d'autres agriculteurs et 3,3% ont consulté des vendeurs de produits phytosanitaires (fig. 13). Ces résultats sont cohérents avec ceux de Soudani (2022), qui a constaté que la majorité des maraîchers de Biskra se basaient uniquement sur les conseils des vendeurs de produits phytosanitaires pour le choix des pesticides.

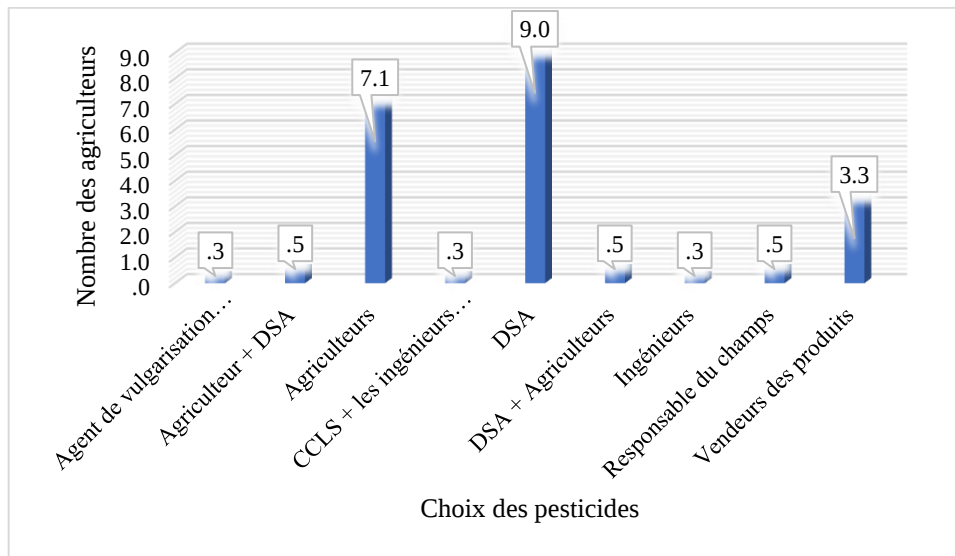


Figure 13. Répartition des agriculteurs en fonction des critères de choix des pesticides.

2.3. Stockage des pesticides

La majorité des agriculteurs (88%) ont confirmé qu'ils stockent leurs produits phytosanitaires dans un endroit spécial en dehors de la maison. En outre, 3% des enquêtés déclarent qu'ils ne disposent pas d'un endroit bien aménagé réservé à leur stockage puisqu'ils préfèrent les acheter selon leurs besoins, et en cas de nécessité (tab. 8).

Tableau 8. Différents types de Locaux de stockage des pesticides

Type du local	Fréquence (n)	Pourcentage (%)
Dans une maison (sans conditions particulières)	29	7,9%
Dans la maison (dans une armoire ventilée fermé à clé)	3	0,8%
Dans un local spécifique en dehors de la maison	324	88%
Couverts sur le sol	1	0,3%
Acheter selon le besoin	11	3%

Nos résultats sont contradictoires à ceux de (Soudani, 2022), qui révèlent qu'à cause du manque d'un local bien aménagé, fermé à clé, les agriculteurs de la région de Biskra préservent leurs pesticides dans une serre spéciale pour le stockage des équipements y compris les pesticides. Toutefois, la serre en plastique, n'est pas conçue pour ce genre de stockage, notamment s'il s'agit de produits sensibles, et spécialement dans une région aride. Ceci

confirme que les agriculteurs de la région de Khenchela sont bien conscients des dangers de ces produits et des conditions spéciales de leur conservation.



Enfouis sous terre



Locale dehors la maison

Figure 14. Stockage des pesticides (original, 2020).

2.4. Disponibilité de matériel d'application des traitements phytosanitaires

Selon les résultats résumés dans le tableau 9, les agriculteurs utilisent des pulvérisateurs manuels (24,5 %), qui sont des réservoirs de 200 litres (en métal ou en plastique) reliés à une pompe à haute pression et à un tuyau en plastique (à gaz) connecté à un pistolet pour la pulvérisation, et des équipements de traitement phytosanitaire tractés (75,5 %). Les buses utilisées pour les traitements sont des buses à turbulence pour tous les types de cultures soit arboriculture ou céréalicultures.

Tableau 9. Disponibilité du matériel de traitement phytosanitaire dans les exploitations

Matériel de pulvérisation		Nombre des agriculteurs enquêté (n)	Pourcentage (%)
Type de Pulvérisateur	Manuel	90	24,5
	À rampe ou à pistolet (Tracté)	278	75,5
Traction	Trainé	167	45,5
	Porté	200	54,3
	A dos	1	0,3
Capacité de la cuve (L)	> 200 L	4	1,1
	200 L	74	20,1
	400 L	89	24,2
	800 L	1	0,3
	1000 L	131	35,6
	< 1000 L	69	18,8

2.5. Entretien des pulvérisateurs

La majorité des agriculteurs (88,3%) ont déclaré qu'ils veillaient à ce que leurs pulvérisateurs soient contrôlés avant l'application. Il s'agit de vérifier la pression, de contrôler les buses et de laver le réservoir. Toutefois, (6,8%) des agriculteurs ont indiqué qu'ils ne donnaient aucune importance au contrôle du pulvérisateur après chaque application.

En outre, (4,9%) des personnes interrogées ont confirmé qu'ils ne vérifiaient leurs pulvérisateurs qu'en cas de problème.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de Soudani (2022), qui rapporte que la majorité des agriculteurs interrogés règlent, vérifient et contrôlent leurs pulvérisateurs avant de traiter les cultures. Cependant, juste après la fin de l'opération de traitement, l'entretien et le nettoyage des outils utilisés ne sont pas nécessairement garantis par tous les agriculteurs. Bien que les bonnes pratiques agricoles exigent que le matériel de pulvérisation soit entretenu et vérifié avant et après l'utilisation des pesticides (FAO, 2002 ; Damalas et Eleftherohorinos, 2011), ce qui peut garantir l'efficacité de la lutte chimique et la sécurité des opérateurs.

Tableau 10. Opérations d'entretien des pulvérisateurs.

	Fréquence (n)	Pourcentage (%)
Avant chaque application	325	88,3 %
En cas de problème	18	4,9 %
Aucune vérification	25	6,8 %

2.6. Adoption des mesures de protection

Le risque d'intoxication est accru quand les doses sont élevées et quand la protection est inexistante.

D'après les résultats de l'enquête, 57% des agriculteurs portaient leurs équipements de protection, ils préparent la bouillie et traitent avec la tenue quotidienne de travail. La mesure de sécurité la plus observée chez les agriculteurs de la région d'étude est le port d'un masque (23%) et des bottes (23%). En deuxième position le port des gants jetables en plastiques (22%). Une protection partielle est appliquée par 22% des agriculteurs, ils portent juste des combinaisons et des gants pendant toutes les phases nécessaires du traitement. Enfin, 21% des agriculteurs ne prennent aucune mesure de protection (absence totale de protection). Ces résultats montrent que les agriculteurs de la région sont assez conscients des conséquences des produits manipulés et une bonne partie d'entre eux applique des mesures de sécurité adéquates.

En fait, l'exposition estimée des agriculteurs aux produits phytosanitaires lors de la pulvérisation, sur de longues périodes et sans équipements de protection adéquats, est une source majeure de risque pour la santé. Le risque d'exposition pourrait être considérablement réduit si les agriculteurs portaient un équipement de protection individuelle complet (Duemmler, 1993 et Guissou et al, 1996). Selon Toé et al (2013) et Richard et al (2014), les équipements de protection individuelle jouent un rôle très important dans la réduction de l'exposition des opérateurs aux produits phytosanitaires.

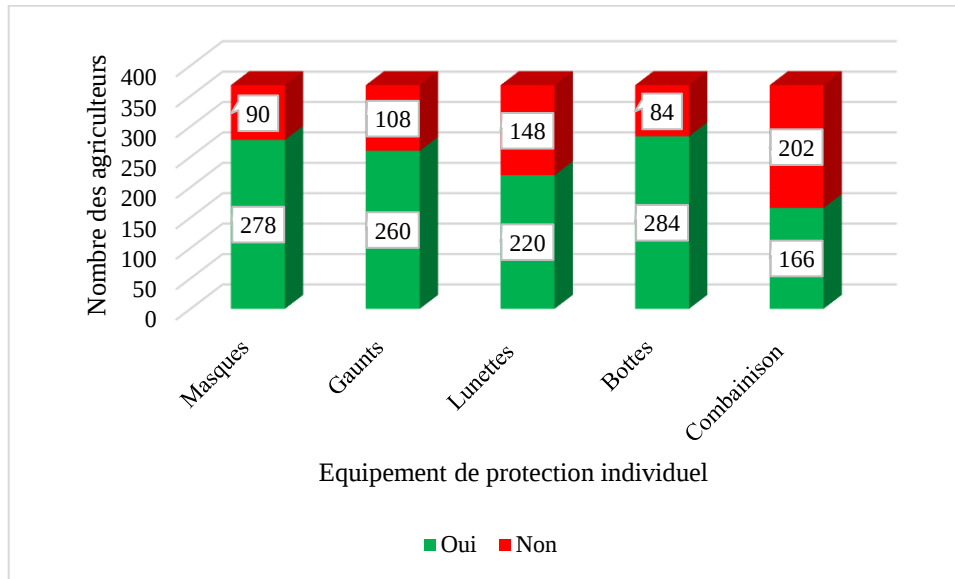


Figure 15. Types d'équipements de protection individuelle utilisés par les agriculteurs enquêtés.



Figure 16. Un agriculteur pendant le traitement sans équipement de protection individuelle (Original, 2023).

2.7. Taux d'utilisation des pesticides

Les résultats montrent que tous les agriculteurs (100%) considèrent l'utilisation des pesticides comme un facteur essentiel pour améliorer les rendements. En particulier, les arboriculteurs.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Guehiliz (2023) à Biskra, et contradictoires à ceux trouvés par Yakhlef et *al.* (2008) à Sétif et Hattab et Gaouar (2016) à Tlemcen pour les céréales.

2.8.Type des pesticides utilisés

Toutes les spécialités commerciales inventoriées dans la région de Khenchela sont des produits phytosanitaires. Les insecticides et les herbicides sont les plus utilisés avec respectivement 40% et 29%, soit 69% de la totalité des produits phytosanitaires. Suivi par l'usage des fongicides par 25%, puis un faible usage des régulateurs de croissance utilisés pour les céréalicultures (6%) (fig. 17). Ces résultats concordent avec ceux de Kanda *et al* (2014) et Mondédji *et al* (2015), ces derniers certifie que l'usage des insecticides, et autres produits phytosanitaires se répand de plus en plus avec le développement de l'agriculture, mais aussi dans le cadre des actions de lutte contre les vecteurs nuisibles. La pression des bioagresseurs a été identifiée comme la contrainte majeure aux cultures arboricoles. Tandis que, l'usage des pesticides est fortement corrélé aux types de cultures et aux pratiques culturelles locales. Ainsi, aux États-Unis, où les grandes cultures (maïs, blé, soja) prédominent largement, les herbicides constituent la principale catégorie des pesticides utilisés. En France, les fongicides représentent environ la moitié des tonnages vendus (Aubertot *et al.*, 2005).

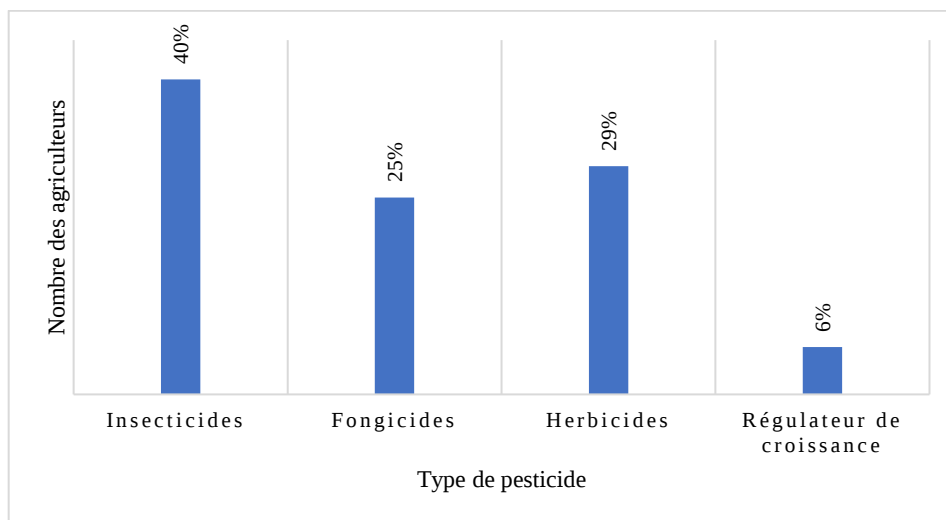


Figure 17. Taux d'utilisation des différents types de pesticides dans les fermes enquêtées.

3. Identification des pesticides utilisés en céréaliculture et en arboriculture

Un totale de 26 produits commerciaux a été répertorié, dont 12 produits pour l'arboriculture (tab. 11) (DPVCT, 2017).

Les résultats de l'enquête révèlent que, Les insecticides (66,1%) les plus utilisés par les agriculteurs dans les zones montagneuses pour la culture de pommier sont par ordre d'importance : Voliam Flexi (33,3%), Movento (10,2%), Voliam Targo (9%), Décis (5,1%),

Vertimec (5,1%), Actara (1,7%), Nomolt (1,1%) et Insegar (0,6%) : les substances actives et les doses préconisées sont indiquées dans le (tab. 11).

Il est évident que l'arboriculture dans la wilaya de Khenchela est fréquemment soumise à des infestations par les insectes.

Tableau 11. Identification des produits phytosanitaires utilisés en arboriculture

Type	Produit	Matière Active	Concentration	Formulation	Dose	N° homologation	Effectif
Insecticide	Insegar	<i>Fenoxycarbe</i>	25%	WG	0,3 kg/ha	15-55-237	1
	Voliam Flexi	<i>Chlorantraniliprole</i>	100 g/l	SC	0,3 L/ha	11-51-031	59
		<i>Thiamothoxam</i>	200 g/l				
	Voliam Targo	<i>Chlorantraniliprole</i>	45 g/l	SC	0,5 L/ha	11-51-032	16
		<i>Abamectine</i>	18 g/l				
	Movento	<i>Spirotetramat</i>	150 g/l	SC	1,9 L/ha	10-50-007	18
	Actara 25 WG	<i>Thiamethoxam</i>	25%	WG	0,2 kg/ha	D09-9-002	3
	Décis 25 EC	<i>Deltaméthrine</i>	25 g/l	EC	0,4 L/ha	R12-52-004	9

	Nomolt	<i>Teflubenzuron</i>	150g/l	SC	1 L/ha	16-56-001	2
	Vertimec	<i>Abamectine</i>	18 g/l	CS	0,5 L/ha	16-56-011	9
Fongicide	Bayfidan	<i>Triadiménol</i>	312 g/l	SC	0,15 L/ha	08-46-074	34
	Score	<i>Difenoconazole</i>	250 g/l	EC	0,2 L/ha	R12-52-027	19
	Aliette Flash	<i>Fosetyl- Aluminium</i>	800 g/kg	WG	2.5 kg/ha	09-47-011	5
	Flint	<i>Trifloxystrobine</i>	500 g/kg	WG	0,15 kh/ha	12-52-014	1
WG: Granulés disperser dans l'eau. EC: Concentré émulsionnable SC: Suspension concentrée CS: Suspension de capsules							

L'enquête a permis de recenser 15 produits homologués pour la céréaliculture en Algérie selon l'Index phytosanitaire (DPVCT, 2017). Ces derniers sont répartis en trois grandes familles, herbicides, insecticides et fongicides. Cette culture est dominée par les traitements herbicides (55%) (tab. 12).

Ces résultats concordent avec ceux présentés par Guehiliz (2023), qui révèlent l'abondance des traitements herbicides sur les céréales souvent attaquées par les adventices à Biskra.

Tableau 12. Identification des produits phytosanitaires utilisés en céréaliculture

Type	Produits	Matière active	Concentration	Formulation	Dose	N° homologation	Effectifs
Insecticide	Actara 25 EC	Thiamethoxam	25%	WG	0,2 kg/ha	R12-52-002	2
	Movento	Spirotetramat	150 g/l	SC	1.9 L/ha	10-50-007	1
	Engeo 247 SC	Thiaméthoxam	141g/l	SC	50 à 200 ml/ha	F06-0-003	5
		Lambda Cyhalothrin	106 g/l				
	Force	Tefluthrine	0,50%	GR	40 kg/ha	16-56-018	4
	ProAct 50 EC	emamectine benzoate	50 g/l	EC	1 l/ha	10-50-008	6
	Pyral 480 EC	chlorpyriphos-ethyl	480 g/L	EC	0,5 l/ha	R12-52-024	14
Herbicide	Zoom	dicamba	65,90%	WG	120 g/ha	R12-52-031	5
		Triasulfuron	4,10%				
	Désormone Lourd D	2,4-D-ester S/F de butylglycol	872 g/l soit 600 g/l acide	EC	0,7 à 1 l/ha	R09-47-009	82

	Pallas 45 OD	Pyroxsulam	45 g	OD	0,5 l/ha	11-51-025	3
		Cloquintocet-mexyl	90 g				
	Mustang 360 SE	Florasulam	6,25 gr/l	SE	0,6 l/ha	14-54-031	1
		Ester	300 gr/l 2,4 D				
	Traxos One	Pinoxaden	30 g/l	EC	1 l/ha	16-05-17	11
		Clodinafop-propargyl	30 g/l				
		Florasulam	7,5 g/l				
		Cloquitocet-mexyl	7,5 g/l				
	Axial	Pinoxaden	4,50%	EC	1 l/ha	11-51-006	1
		Cloquintocet-Mexyl	1,13%				
	Delfan Plus	Acides aminés libres	24%	SL	1 l/ha	16-560-94	2
		Azote organique	9%				
Fongicide	Artea 330 EC	Cyproconazole	80 g/l	EC	0,3 à 0,5 l/ha	14-54-143	8
		Propiconazole	250 g/l				
	Amistar Xtra	Azoxystrobine	200 g/l	SC	1 l/ha	15-55-255	25
		Cyproconazole	80 g/l				
WG: Granulés disperser dans l’eau. EC: Concentré émulsionnable							
SC: Suspension concentrée OD: Oil dispersion							
GR : Granulé SL: Concentré soluble							
SE: Suspo-emulsion							

Selon leurs classification CLP (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures), ces substances actives sont dangereuses et toxiques pour l'homme et pour l'environnement. La classification conformément au règlement (CE) n° 1272/2008, connu sous le nom de CLP, indique que la quasi-totalité des substances actives répertoriées sur les emballages présentent une toxicité ou un danger en cas d'ingestion ou de contact avec la peau. Plusieurs études ont déjà souligné l'existence de mauvaises pratiques lors de l'utilisation des pesticides (Adechain et *al.*, 2015 ; Son et *al.*, 2017).

Conclusion

La lutte chimique reste la méthode la plus répandue pour combattre une série de ravageurs des cultures. L'efficacité de cette approche dépend d'un certain nombre de variables, notamment la sélection prudente des pesticides, le moment de l'application et la qualité de l'application. Cette dernière est influencée par le type et l'état de l'équipement utilisé, ainsi que par la compétence de l'opérateur.

Les résultats du chapitre mettent en évidence une diversité d'exploitations agricoles et de pratiques phytosanitaires, marquée par une utilisation généralisée des pesticides. Si la majorité des agriculteurs savent lire les emballages, peu maîtrisent les dosages et l'entretien du matériel reste insuffisant. De plus, la protection individuelle est souvent négligée, tandis que l'approvisionnement informel accentue les risques. La forte dépendance aux herbicides et insecticides souligne l'urgence de renforcer la formation et la sensibilisation aux bonnes pratiques pour réduire les impacts sanitaires et environnementaux.



***CHAPITRE III : EVALUATION DES
RISQUES D'EXPOSITION AUX
PESTICIDES DANS LES SITES
D'ETUDE***



Introduction

L'usage des pesticides constitue une composante essentielle de la protection des cultures, permettant de préserver les rendements et la qualité des productions agricoles. Toutefois, leur utilisation soulève des préoccupations majeures en raison de leurs impacts environnementaux et sanitaires. Une application intensive et non maîtrisée peut en effet entraîner des effets néfastes sur la biodiversité, la qualité des sols et des eaux, ainsi que sur la santé des agriculteurs et des consommateurs.

La réussite d'une lutte chimique efficace repose sur plusieurs facteurs déterminants, notamment le choix approprié du pesticide, la période d'intervention et la qualité d'application. Cette dernière dépend du type et de l'état des équipements utilisés ainsi que des compétences de l'opérateur (Houmy, 2001). L'évaluation des pratiques phytosanitaires devient ainsi un enjeu crucial pour promouvoir une agriculture plus durable. L'analyse de la fréquence et de l'intensité des traitements, à travers des indicateurs tels que l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) et la Pression Phytosanitaire (IPP), permet d'appréhender le niveau d'intervention chimique sur différentes cultures et d'identifier des leviers d'optimisation. Par ailleurs, la prise en compte des risques d'exposition des opérateurs est essentielle pour renforcer la prévention et promouvoir des pratiques plus sécurisées.

Ce chapitre s'appuie sur les résultats de l'enquête menée auprès des producteurs de céréales et d'arboriculture, présentés dans le chapitre précédent, afin d'évaluer leurs pratiques phytosanitaires. L'objectif est d'analyser ces pratiques en fonction des cultures et des contextes agroécologiques, en mettant en lumière les disparités observées et les perspectives d'amélioration pour une gestion plus raisonnée des pesticides.

I. Méthodologie de travail

1. Evaluation de la fréquence des traitements de la pression phytosanitaire

1. Présentation de l'indice des fréquences des traitements (IFT)

L'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) est un indicateur qui rend compte du nombre de doses de produits phytosanitaires appliqués par hectare pendant une campagne culturale.

L'IFT peut être calculé sur une parcelle, à l'échelle d'un ensemble de parcelles, d'une exploitation, d'un territoire ou bien d'une région. Il peut également être décliné par famille de produits appliqués ou type de traitements réalisés (traitements de semences, produits de bio-contrôle, herbicides, insecticides-acaricides, fongicides-bactéricides ...) (Syngenta, 2021).

1.1. Méthode de calcul de l'IFT

Pour chaque traitement réalisé à la parcelle, le calcul de l'IFT se base sur les quantités de produit réellement appliquées à la parcelle (Syngenta, 2021) :

$$IFT = \frac{Dose\ appliquée \times Surface\ traitée}{Dose\ de\ référence \times Surface\ de\ la\ parcelle} \quad (Équation\ 1)$$

La dose appliquée dans la même unité que la dose référence, il peut être nécessaire de tenir compte du volume de bouillie réellement appliqué par hectare :

$$Dose\ du\ produit\ \frac{kg}{hl} \times Volume\ de\ bouillie\ \frac{hl}{Ha} = Dose\ du\ produit\ \frac{kg}{Ha} \quad (Équation\ 2)$$

L'IFT_{Traitement} se calcule différemment, selon le type de traitement réalisé ou le type de produit utilisé pendant la campagne culturale. L'IFT du traitement au champ est obtenu en divisant la dose réellement appliquée par la dose de référence pour le produit considéré multipliée par le pourcentage de surface traitée (INRA et Agro Paris Tech, 2010 ; MAA, 2018 ; Agreste, 2018 ; Agreste, 2019 ; Noé, 2021).

$$IFT_{Traitement\ champ} = \frac{Dose\ appliquée}{Dose\ de\ référence} \times PST \quad (Équation\ 3)$$

Avec :

PST : proportion de surface traitée

La dose de référence est une valeur fixe indépendante des pratiques de l'agriculteur définie à partir des doses homologuées. On distingue deux types de doses de référence :

- ✓ Les doses de référence définies à la cible : ces doses sont définies pour chaque produit, culture, cible ou fonction visée par le traitement. Elles correspondent à la dose homologuée du produit. Lorsque plusieurs doses homologuées sont définies pour un même produit sur une même culture et avec une même cible ou fonction, alors la dose de référence correspond à la plus grande dose homologuée (MAA, 2018) ;
- ✓ Les doses de référence définies à la culture : ces doses sont définies pour chaque produit et culture. Elles correspondent à la plus petite des doses de référence définies à la cible pour le produit et la culture considérés (MAA, 2018).

1.2. Principes généraux de calcul de l'IFT

Selon le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation Français (2018), les principes généraux pour le calcul :

- ✓ **IFT traitement** : l'unité élémentaire de l'IFT est le traitement, c'est-à-dire l'application d'un produit pendant un passage. L'IFT_{traitement} se calcule différemment selon le type de traitement réalisé ou le type de produit utilisé.
- ✓ **Traitement réalisé au champ** : inclut l'ensemble des traitements réalisés sur l'unité spatiale d'intérêt. Inclut également les traitements au sol ou bien sur les parties aériennes de la plante. Pour les grandes cultures, l'ensemble des traitements réalisés au champ, y compris les traitements obligatoires, sont pris en compte, exceptés les traitements de Rodenticides, Répulsifs, Taupicides et dévitalisation des souches.
- ✓ Chaque application est considérée comme un traitement, y compris dans le cas où un produit doit être utilisé en doses fractionnées. Un mélange de deux produits appliqués lors d'un même passage compte en revanche pour deux traitements.
- ✓ L'IFT_{traitement} au champ est obtenu en divisant la dose réellement appliquée par la dose de référence pour le produit considéré.
- ✓ En absence de la dose de référence, dans le cas, par exemple, d'un produit sans dose, l'IFT du traitement compte pour 1.
- ✓ **Traitement des semences et bulbes** : l'ensemble des traitements réalisées sur les semences et les bulbes avant leurs semis ou plantation. Si le type de traitement réalisé ainsi que le produit phytopharmaceutique ou les substances actives utilisées pour le traitement sont généralement connus de l'exploitant, les doses appliquées ne le sont pas toujours. En conséquence, l'IFT est par défaut fixé à 1.
- ✓ Dans le cas où la parcelle n'est pas intégralement semée avec des semences traitées ou qu'un mélange de semences traitées/non traitées a été réalisé avant le semis, on tient également compte de la proportion de surface ou de semences effectivement traitées. Par exemple :
 - ✚ Si 75 % de la parcelle a été semée avec des semences traitées, le reste de la parcelle ayant été semée avec des semences non traitées, l'IFT_{Traitement} de semences s'élève à 0,75 ($= 1 \times 75/100$) ;
 - ✚ Si un mélange 50 % de semences traitées 50 % de semences non traitées a été réalisé, l'IFT_{Traitement} de semences s'élève à 0,5 ($= 1 \times 50/100$).
- ✓ **Traitements des plants** : l'ensemble des traitements réalisés sur les plants avant leur plantation. Les modalités de calcul de l'IFT dépendent de l'activité de l'exploitant.
 - ✚ Si l'exploitant est un producteur de plants, l'IFT se détermine selon la méthodologie décrite pour les traitements au champ.

✚ Si l'exploitant se fournit en plants ayant déjà été traités, l'IFT se détermine selon la méthodologie décrite pour les traitements de semences et bulbes.

- ✓ **Traitements des produits récoltés :** les traitements réalisés par l'exploitant sur les produits récoltés de la parcelle ne sont pas pris en compte dans le calcul de l'IFT.
- ✓ Les IFT ne comprennent pas les adjuvants qui peuvent être utilisés avec les produits phytopharmaceutiques. Les adjuvants (huiles et autres) sont utilisés pour améliorer l'action d'un produit phytopharmaceutique (Agreste, 2019).

1.3. Calcul de l'IFT Unité spatiale (parcelle)

L'unité spatiale de base de l'IFT doit correspondre à un ensemble de terres cultivées en une espèce végétale donnée et conduites selon les pratiques homogènes (fertilisation, traitements phytosanitaires...). Pour l'exploitant agricole, il s'agit en général de la parcelle culturale. Pour l'expérimentateur, il s'agit plutôt de la placette (MAA, 2018).

L'IFT Unité spatiale correspond à la somme des IFT Traitement, qu'il s'agisse de traitements au champ ou traitements de semences, réalisés sur cette unité spatiale pendant une période donnée. En l'absence de traitement, l'IFT Unité spatiale est à 0.

$$IFT_{Unité\ spatiale} = \sum_t \left(\frac{Dose\ appliqué_t}{Dose\ référence_t} \times PST_t \right) \quad (\text{Équation 4})$$

Avec :

PST : proportion de surface traitée

t : les traitements au champ réalisés pendant la période donnée

$$IFT_{Unité\ spatiale} = \sum_t \left(\frac{Dose\ appliqué_t}{Dose\ référence_t} \times PST_t \right) + \sum_{ts} (1 \times PST_{ts}) \quad (\text{Équation 5})$$

Avec :

PST : proportion de surface traitée

t : les traitements au champ réalisés pendant la période donnée

ts : les traitements de semence réalisés pendant la période donnée

Pour les grandes cultures et arboriculture, cette période correspond à la campagne culturale, c'est-à-dire depuis la récolte précédent (année n-1) à la récolte de la culture de la campagne culturale en cours (année n). Quel que soit le type de culture, les traitements réalisés pendant la période d'inter-culture sont pris en compte (MAA, 2018).

2. Modalité de calcul de l'IPP

Selon Boussier (2015), l'indice de pression phytosanitaire (IPP) se calcule par la formule suivante :

$$IPP = \frac{IFT_{culture1} \times SAU_{culture1} + IFT_{culture2} \times SAU_{culture2} + \dots + IFT_{culture(n)} \times SAU_{culture(n)}}{surface\ globale} \quad (\text{Équation 6})$$

Tableau 13. Catégories de la pression phytosanitaire (Boussier, 2015).

Pression phytosanitaire	IPP
Faible	< 0,7
Modéré	[0,7 ; 1,4[
Forte	[1,4 ; 2,1[
Très forte	> 2,1

3. Evaluation de l'exposition des opérateurs

3.1. Evaluation expérimentale de l'exposition des opérateurs

L'objectif de cette étape est de quantifier l'importance des dépôts de pulvérisation sur les parties du corps d'un opérateur de traitements phytosanitaires afin d'identifier les zones les plus vulnérables nécessitant une protection renforcée. Pour ce faire, une série de tests a été réalisée pour simuler un traitement phytosanitaire dans un champ de pommiers.

Les dépôts ont été recueillis sur du papier hydro-sensible collé sur des zones spécifiques du corps de l'opérateur. Les images sont ensuite analysées à l'aide du logiciel **Image J** pour quantifier l'exposition.

Nous avons utilisé quatorze (14) patches, collés à plusieurs parties du corps d'un opérateur [tête, nuque, thorax, abdomen, épaules (gauche et droite), bras (gauche et droit), avant-bras (gauche et droit), cuisses (gauche et droite), jambes (gauche et droite)] comme indiqué par la méthode des patches décrite par Tanor (2008).



Figure 18 : Répartition des papiers hydrosensibles sur le corps de l'opérateur (Original, 2024).

Notre essai a été réalisé dans un champ de pommier (avec une superficie de 750 m²), cet essai permet à la fois de quantifier l'exposition réelle et de vérifier le niveau d'efficacité des équipements de protection individuelle.

Une bouillie contenant de l'eau et un produit phytosanitaire (Soufre en poudre) avec une dose de 1500 g / ha est appliquée à l'aide d'un pulvérisateur à pression de liquide à jet projeté équipé d'une buse à turbulence utilisée pour l'arboriculture (Fig 20).



Figure 19. L'opérateur pendant la préparation et l'application du produit sur pommier (original, 2024).

a. Pendant préparation

b. Pendant l'application



Figure 20. Modèle du pulvérisateur et la buse à turbulence (original, 2024).

a. pulvérisateur

b. buse a turbulence

Après l'application du traitement, les papiers hydro-sensibles fixés sur la tenue de l'opérateur sont collectés à l'aide de gants sèche et placés sur un papier pour prendre des photos servant au traitement pour copter les dépôts / cm^2 et quantifier l'exposition par conséquent.

3.2. Evaluer l'exposition des opérateurs par modèle mathématique

Pour estimer le niveau d'exposition potentielle des opérateurs au cours d'une journée de travail, nous avons utilisé le modèle allemand (GEOMETRIC MEAN VALUES). Ce modèle permet de sélectionner des équipements de protection des cultures à petite échelle.

Nous avons pris en compte différents paramètres, notamment la méthode d'application, le nom du produit, la formulation, la concentration de la matière active, les équipements de protection individuelle portés, ainsi que la dose et le volume d'application. Les données relatives aux doses d'application (8 heures pour les petits pulvérisateurs et 30 heures pour les grands pulvérisateurs) et à la valeur du niveau acceptable d'exposition de l'opérateur (NAEO) pour les matières actives ont été obtenues à partir de la base de données des pesticides de l'UE (base de données 2018).

Un scénario d'exposition a été envisagé dans lequel l'équipement de protection individuelle n'était pas utilisé, ce qui est courant chez les agriculteurs lors des traitements phytosanitaires. Le modèle évalue les valeurs d'exposition prédictives pour les opérations de mélange/chargement (Mix/Load) et pendant la pulvérisation (Application) avec une absorption cutanée de 10 % et une inhalation de 100 %. Le risque théorique de chaque matière active a été caractérisé en comparant l'exposition estimée aux valeurs du niveau acceptable d'exposition de l'opérateur (AOEL).

4. Classification toxicologique des matières actives manipulées

Les données collectées concernent les produits phytosanitaires utilisés, y compris leurs matières actives, leur toxicité et d'autres propriétés ont été obtenues à partir des bases de données disponibles sur AGRITOX (2018), ECHA (2018), et SAGE PESTICIDES (2018).

La liste des produits utilisés a été complétée par l'examen des emballages vides laissés sur le terrain, des pesticides stockés et des données fournies par les vendeurs de produits phytosanitaires.

Les substances actives, les familles chimiques et les classes toxicologiques OMS ont été identifiées par rapport à différentes bases telles que : la base de données des propriétés pesticides (PPDB), la classification recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS : WHO) des pesticides par danger (WHO, 2010), et la classification CLP conformément au règlement CLP n° 1272/2008 du parlement Européen relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances chimiques et des mélanges.

II. Résultats et discussions

1. Evaluation de l'impact environnemental de l'usage des produits phytosanitaires

1.1. Indicateur de fréquence des traitements phytosanitaires (IFT_{Traitement})

Les données nécessaires au calcul de l'indice de fréquence de traitement (IFT_{Traitement}) ont été obtenues à partir d'une enquête menée auprès des agriculteurs des communes de Bouhmama, Chelia, M'sara, Yabous, Kais, Taouzient, Remila et Checher au cours de la période 2020/2021. Vingt-sept substances actives couramment appliquées sur les sites susmentionnés ont été sélectionnées pour être incluses dans les calculs.

Néanmoins, l'approche par défaut implique l'utilisation des statistiques relatives à la période 2020/2021 pour le calcul de l'indice de pression phytosanitaires. Ces statistiques englobent les superficies totales cultivées et la production en céréales et en pommiers (tab. 14)

Tableau 14. Superficies totales des céréales et de pommiers par commune (2020/2021).

Culture	Communes	Superficie totale des cultures(ha)	Production totale des cultures (Qtx)
Pommiers	Bouhmama	2 190	902 500
	Chelia	860	290 250
	M'sara	754	280 000
	Yabous	352	135 450
	Taouzient	322,25	21 840
Céréales	Kais	850	14 505
	Remila	7455	67 700
	Checher	1 084	193 744

Les tableaux présentent des données détaillées sur l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) pour deux cultures différentes : Pommier et Céréales (Blé). L'IFT est un indicateur environnemental mesurant l'utilisation des produits phytosanitaires.

Tableau 15. Calcul de l'IFT traitement pour la culture de Pommier

Culture	Type de produit	Produit	Cible	Surface traitée (%)	Dose appliquée	Dose de référence	IFT traitement	Fonction IFT
Arboriculture (Pommier)	Insecticide	Insegar	Carpocapse					Insecticide - Acaricide
		Voliam Flexi	Mineuse					
		Voliam Targo	Mineuse					
		Movemento	Pou San José					
		Actara 25 WG	Pucerons					
		Décis 25 EC	Carpocapse					
		Nomolt	Carpocapse					
		Vertimec	Acariens					
	Fongicide	Bayfidan	Oïdium					Fongicide – Bactéricide
		Score	Tavelure					
		Aliette Flash	Feu Bactérien					
		Flint	Oïdium					

Concernant les Céréales, les traitements se répartissent en trois catégories principales : insecticides, herbicides et fongicides. illustrant les différences potentielles d'efficacité et d'impact environnemental entre les produits (tab. 16).

Tableau 16. Calcul de l'IFT_{traitement} pour la culture de Blé

Culture	Type de produit	Produit	Cible	Surface traitée (%)	Dose appliquée	Dose de référence	IFT traitement	Fonction IFT
Céréales (Blé)	Insecticide	Actara 25 WG	Pucerons					Insecticide - Acaricide
		Engo 247 SC	Pucerons					
		Force	Insecte de sol					
		ProAct 50 EC	Noctuelle					
		Pyrical 480 EC	Taupins					
	Herbicide	Zoom	Désherbant					Herbicide
		Désormone Lourde	Désherbant					
		Pallas 45 OD	Désherbant					
		Mustang 360 SE	Désherbant					

		Traxos One	Désherbant					
		Axial	Désherbant					
		Deflan Plus	Désherbant					
	Fongicide	Artea 330 EC	Rouille jaune et brune					Fongicide – Bactéricide
		Amistar Xtra	Rouille jaune et brune					
	Régulateur de croissance	CodaMix	Correcteur de carences					Autre

1.2.Calcul de l'IFT_{Parcelles} des sites d'étude par culture

Le tableau 17 ci-dessous, présente l'indice de fréquence de traitement (IFT) pour les parcelles de pommiers sur différents sites d'étude. L'analyse montre des différences notables dans l'utilisation des produits phytosanitaires

Les travaux de Soudani (2022) et de Guehiliz (2023) sur les pratiques phytosanitaires dans la région de Biskra fournissent des informations supplémentaires qui complètent les résultats de notre analyse de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT).

Tableau 17. IFT_{Parcelle} calculés pour culture de pommier par site d'étude.

Site d'étude	Culture	Pommier
Bouhmama	Superficie (ha)	2 190
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	
	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	
	Dont IFT Insecticides-Acaricides	
M'sara	Superficie (ha)	754
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	
	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	
	Dont IFT Insecticides-Acaricides	
Chelia	Superficie (ha)	860
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	
	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	
	Dont IFT Insecticides-Acaricides	
Yabous	Superficie (ha)	352
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	

Taouzient	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	
	Dont IFT Insecticides-Acaricides	
	Superficie (ha)	322,25
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	
	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	
	Dont IFT Insecticides-Acaricides	

Le tableau 18 ci-dessous, présente une analyse de l'indice de fréquence de traitement pour les parcelles de blé, démontrant des divergences notables entre les sites.

Tableau 18. IFT _{Parcelle} calculés pour les céréales par site d'étude.

Site d'étude	Culture	Blé
Remila	Superficie (ha)	7455
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	
	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	
	Dont IFT Insecticides-Acaricides	
	Dont IFT Autres	
Kais	Superficie (ha)	850
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	
	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	
	Dont IFT Insecticides-Acaricides	
	Dont IFT Autres	
Checher	Superficie (ha)	1084
	IFT parcelle total	
	Dont IFT Herbicides	
	Dont IFT Hors Herbicides	
	Dont IFT Fongicides-Bactéricides	

	Dont IFT Insecticides-Acaricides	
	Dont IFT Autres	

La comparaison entre les deux cultures met en évidence des stratégies de protection différentes. Les pommiers montrent des IFT relativement modérés, avec des variations probablement liées aux spécificités locales des bio-agresseurs et des conditions agroécologiques. En revanche, la culture de blé présente des IFT plus variables, avec un site (Remila) se démarquant par une intensité de traitement significativement plus élevée. Ces différences peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs :

- ✓ La nature des cultures (pérenne ou annuelle),
- ✓ La complexité des systèmes de production,
- ✓ Les pressions parasitaires spécifiques à chaque écosystème agricole.

2. Calcul de l'Indice de Pression Phytosanitaire (IPP)

L'IPP sera calculé comme suit : $(IFT \text{ total} * \text{Superficie}) / \text{Superficie totale des sites}$

Tableau 19. Indice de pression phytosanitaire pour la culture de pommier

Commune	IFT total * Superficie	IPP	Interprétation
Bouhmama			
M'sara			
Chelia			
Yabous			
Taouzient			

L'analyse de l'Indice de Pression Phytosanitaire (IPP) révèle des dynamiques complexes dans les systèmes agricoles des Aurès.

Tableau 20. Indice de pression phytosanitaire pour la culture de Blé.

Commune	IFT total * Superficie	IPP	Interprétation
Remila			
Kais			
Checher			

La situation du blé présente un contraste saisissant, avec un IPP de 17,98 significativement plus élevé. Les traitements sont diversifiés, combinant herbicides, fongicides et insecticides, avec une proportion notable de traitements hors herbicides.

La géolocalisation dans la région des Aurès, caractérisée par un climat semi-aride à continental, explique en partie ces variations. Les différences d'IPP entre pommiers et blé reflètent la complexité des systèmes de production agricole, où chaque culture développe des stratégies de protection spécifiques adaptées à ses propres contraintes biologiques et environnementales. Cette analyse met en lumière la nécessité de développer des approches agronomiques contextualisées, visant à optimiser les traitements phytosanitaires tout en

La géo-contextualisation de ces résultats, située dans la région des Aurès, apporte un éclairage unique sur les stratégies agricoles locales. Storkey et *al.* (2020) ont montré que les variations régionales des pratiques phytosanitaires sont fortement influencées par les conditions pédoclimatiques, les traditions agricoles et les pressions économiques. Le site de Remila, avec son IPP particulièrement élevé, pourrait représenter un modèle d'intensification agricole qui mérite une analyse approfondie des pratiques de protection des cultures.

3. Estimation de l'exposition des opérateurs

3.1. Evaluation expérimentale de l'exposition

Pour cette étape, les valeurs d'exposition sont liées aux différentes parties du corps pour déterminer les plus exposées d'entre elles et par conséquent les risques liées aux produits sur l'opérateur.

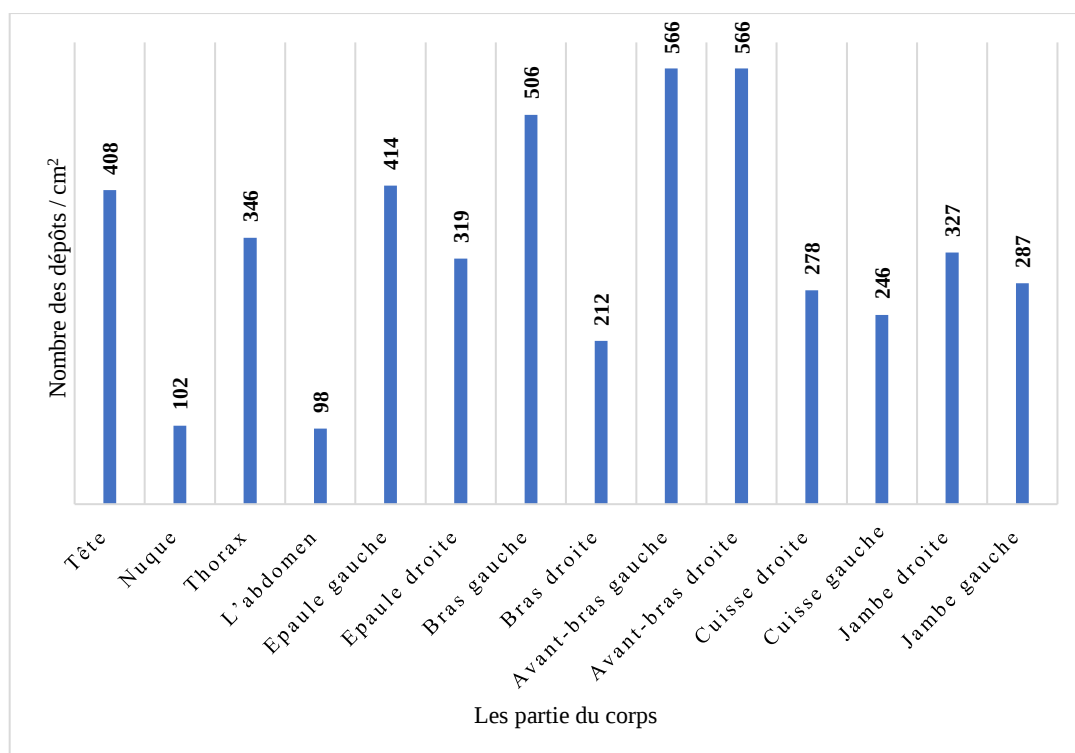


Figure 21. Nombre des dépôts par cm² sur les papiers hydro-sensibles.

On peut observer que la partie supérieure du corps de l'opérateur est plus exposée que la partie inférieure lors des essais de pulvérisation (fig. 21). Cette répartition de l'exposition est attribuée à la hauteur de la culture traitée et à sa densité. Un autre facteur contribue à cette répartition est la buse à turbulence, connue pour la finesse des gouttelettes qu'elle produit, ce qui les fait rester en suspension dans l'air au-dessus de la culture traitée.

Une forte exposition de la tête et du thorax peut entraîner l'inhalation de pesticides dangereux, en fonction de la toxicité de la substance active manipulée. À l'inverse, l'exposition de l'abdomen, des bras et des cuisses augmente le risque d'absorption cutanée des substances actives, ce qui peut avoir divers effets néfastes sur la santé de l'opérateur. Nos résultats indiquent que la quantité de substance active à laquelle le cou de l'opérateur peut être exposé est du même ordre de grandeur que son thorax. Ceci implique que l'environnement clos d'une exploitation arboricole couverte et la distance entre les arbres contribuent à la turbulence de l'air, augmentant ainsi l'exposition de l'opérateur. La présence de taches sur le papier hydro sensible indique que l'opérateur a traversé les rangées d'arbres. Ce résultat est similaire à celui trouvé par Belhamra (2019) à Biskra.

3.2. Evaluation de l'exposition des opérateurs par modèle mathématique

Les scénarios de traitements ont été utilisés pour alimenter un modèle mathématique sous forme de feuille de calcul Excel afin de calculer l'exposition potentielle des agriculteurs des sites d'étude aux pesticides.

Tableau 21. Evaluation de l'exposition des opérateurs en arboriculture.

Produit	Matière Active	Concentration	Formulation	Dose	Effectives (%)	AOEL (mg/kg p.c/j)	Exposition (mg/kg p.c/j)		
							Protection total	Protection partielle	Sans protection
Insegar	Fenoxycarbe	25%	WG	0,3 kg/ha	1 0,6%				
Voliam Flexi	Chlorantraniliprole	100 g/l	SC	0,3 L/ha	59 33,3%				
	Thiamothoxam	200 g/l							
VoliamT	Chlorantraniliprole	45 g/l	SC	0.5 L/ha	16 9%				
	Abamectine	18 g/l							
Movento	Spirotetramat	150 g/l	SC	1.9 L/ha	18 10,2%				
Actara 25 WG	Thiamethoxam	25%	WG	0,2 kg/ha	3 1,7%				

Décis 25 EC	<i>Deltaméthrine</i>	25 g/l	EC	0,4 L/ha	9 5,1%				
Nomolt	<i>Teflubenzuron</i>	150g/l	SC	1 L/ha	2 1,1%				
Vertimec	<i>Abamectine</i>	18 g/l	CS	0,5 L/ha	9 5,1%				
Bayfidan 250 EC	<i>Triadiménol</i>	312 g/l	SC	0,15 L/ha	34 9,2%				
Score 250 EC	<i>Difenoconazole</i>	250 g/l	EC	0,2 L/ha	19 10,7%				
Aliette Flash	<i>Fosetyl- Aluminium</i>	800 g/kg	WG	2.5 kg/ha	5 2,8%				
Flint	<i>Trifloxystrobine</i>	500 g/kg	WG	0,15 kg/ha	1 0,6%				
WG: Granulés disperser dans l'eau. SC: Suspension concentrée EC: Concentré émulsionnable CS: Suspension de capsules									

L'exposition de l'opérateur estimée sans EPI ou en protection partielle, exprimée en pourcentage de l'AOEL. Ces dépassements de limites maximales tolérées d'exposition des opérateurs en combinaison avec les propriétés toxicologiques de la préparation.

Tableau 22. Evaluation de l'exposition des opérateurs en céréaliculture

Produits	Matière active	Concentration	Formulation	Dose	Effectives (%)	AOEL (mg/kg p.c/j)	Exposition (%) (mg/kg p.c/j)		
							Protection total	Protection partiel	Sans protection
Actara 25 WG	Thiamethoxam	25%	WG	0,2 kg/ha	2 1%				
Engeo 247 SC	Thiaméthoxam	141g/l	SC	50 à 200 ml/ha	5 2,6%				
	Lambda Cyhalothrin	106 g/l							
Force	Tefluthrine	0,50%	GR	40 kg/ha	4 2,1%				
ProAct 50 EC	Emamectine benzoate	50 g/l	EC	1 l/ha	6 3,1%				
Pyrical 480 EC	Chlorpyrifos- Ethyl	480 g/L	EC	0,5 l/ha	14 7,3%				
Zoom	Dicamba	65,90%	WG	120 g/ha	5 2,6%				

	<i>Triasulfuron</i>	4,10%							
Désormone Lourd D	<i>2,4-D-ester S/F de butylglycol</i>	872 g/l soit 600 g/l acide	EC	0,7 à 1 l/ha	82 42,9%				
Pallas 45 OD	<i>Pyroxsulam</i>	45 g	OD	0,5 l/ha	3 1,9%				
	<i>Cloquintocet- mexyl</i>	90 g							
Mustang 360 SE	<i>Florasulam</i>	6,25 gr/l	SE	0,6 l/ha	1 0,5%				
	<i>Ester</i>	300 gr/l 2,4 D							
Traxos One	<i>Pinoxaden</i>	30 g/l	EC	1 l/ha	11 5,8%				
	<i>Clodinafop- propargyl</i>	30 g/l							
	<i>Florasulam</i>	7,5 g/l							
	<i>Cloquitocet- mexyl</i>	7,5 g/l							

Axial	Pinoxaden	4,50%	EC	1 l/ha	1 0,5%				
	Cloquintocet-Mexyl	1,13%							
Artea 330 EC	Cyproconazole	80 g/l	EC	0,3 à 0,5 l/ha	8 4,2%				
	Propiconazole	250 g/l							
Amistar Xtra	Azoxystrobine	200 g/l	SC	1 l/ha	25 13,1%				
	Cyproconazole	80 g/l							
WG: Granulés disperser dans l’eau. EC: Concentré émulsionnable									
SC: Suspension concentrée OD: Oil dispersion									
GR : Granulé SL: Concentré soluble									
SE: Suspo-emulsion									

Le risque sanitaire pour les opérateurs est considéré comme non acceptable, sans port de protection pendant les phases de la préparation et de l'application des traitements. Ce risque diminue quand les producteurs portent des équipements de protection individuelle partiel ou complet.

La majorité des pesticides destinés aux céréales ne sont pas recommandés en arboriculture en raison de leur toxicité élevée, de leur forte concentration et de leur persistance sur la culture.

Il a été constaté également que peu de producteurs interrogés se conforment aux règles d'hygiène au cours de l'utilisation des pesticides. Ce constat rejoint celui fait par Doumbia et Kwadjo (2009) en Côte d'Ivoire, par Tyagi *et al.* (2015) en Inde et par Belhadi *et al.* (2016) en Algérie.

4. Classification toxicologique des matières actives

Les insecticides, herbicides, fongicides et régulateur de croissance utilisés par les agriculteurs considérés dans la présente étude sont formulé à base de 27 matières actives dont les plus fréquentes sont, 2,4-D-Ester-Butylglycol, Chlorantraniliprole, Triadiménol, Cyproconazole, Thiamethoxam et Azoxystrobine (tab. 23)

Tableau 23. Classification toxicologique des matières actives utilisées par les enquêtés.

Famille chimique	Matière active	Nombre d'utilisateur	Pourcentage par rapport des enquêtés	Risque de développement de la résistance SAgE	Classe toxicologique OMS
Carbamates	Fénoxycarb	1	0,6 %		
Diamides	Chlorantraniliprole	75	42,3 %		
Néonicotinoïdes	Thiamethoxam	69	38,6 %		
Avermectines	Abamectine	25	14,1 %		
Dérivés d'acide tétronique et tétramique	Spirotetramate	19	10,2 %		
Pyréthroïdes synthétiques	Deltaméthrine	9	5,1 %		
	Lambda-cyhalothrin	5	2,6 %		
	Téfluthrine	4	2,1 %		
Organophosphorés	Chlorpyrifos-Ethyl	14	7,3 %		
Benzoylurées	Diflubenzuron	2	1,1 %		
Avermectine	Benzoate émamectine	6	3,1 %		
Triazoles	Triadiménol	34	9,23 %		
	Difénoconazole	19	5,16 %		
	Cyproconazole	33	8,96 %		
	Propiconazole	8	2,17 %		
Phosphanates	Fosetyl-aluminium	5	1,36 %		
Oximino-acétates	Trifloxystrobine	1	0,6 %		
Méthoxy-acrylates	Azoxystrobine	25	6,79 %		
Acide benzoïque	Dicamba	5	1,36 %		
Sulfonylurées	Triasulfuron	5	1,36 %		
Phénoxy-carboxylates	2,4-D-Ester-Butylglycol	83	22,55 %		
	2,4-D-Ester	1	23,15 %		
Triazolopyrimidines	Pyroxsulame	3	0,82 %		
	Florasulam	1	3,59 %		

Dérivées de la quinoline	Cloquintocet-mexyl	15	4,41 %		
Phénylpyrazoline	Pinoxadène	12	3,59 %		
Aryloxyphénoxy-propionates (FOPs)	Clodinafop-propargyl	11	2,99 %		

La classification toxicologique a été établie à base de la classification de l'Organisation mondiale de la santé (OMS : WHO) (WHO, 2020), et de la base des données de l'UICPA sur les produits phytosanitaires (UICPA, 2020).

5. Critique des pratiques phytosanitaires dans les sites d'étude

Le dosage, la préparation et l'application des pesticides dans les sites d'étude sont réalisés soit par les propriétaires des parcelles, soit par leurs employés. Les doses de pesticides sont mesurées à l'aide des bouchons des emballages de façon approximative pour toutes les formulations, même les formulations en poudre (WP) qui nécessitent une pesée. Par conséquent, les dosages varient fortement, d'un traitement à un autre et sont dans la majorité des cas supérieurs à la dose recommandée sur l'étiquette pour les producteurs d'arboriculture. Ceci a été remarqué aussi par Nabti (2015) qui rapporte que la majorité des agriculteurs n'accordent pas d'importance aux petits dessins explicatifs du dosage des produits illustrés sur les étiquettes.

L'étude de Kpan et *al.* (2019) a démontré que le non-respect des bonnes pratiques agricoles pouvait être attribué à l'absence de formation qualifiante. De même, afin de préserver la santé des consommateurs, il est impératif de respecter les instructions d'utilisation de chaque produit pour garantir que les résidus de pesticides présents dans les légumes traités ne dépassent pas les limites maximales de résidus (Doumbia et Kwadjo, 2009 ; Ahouangninou et *al.*, 2011 ; Kanda et *al.*, 2013). Il est à noter que l'intensification des traitements et le non-respect des doses recommandées, associés à la mauvaise gestion des emballages vides de pesticides, peuvent contribuer à l'émergence de souches bactériennes résistantes et engendrer des effets néfastes sur l'environnement (Doumbia et Kwadjo, 2009 ; Ahouangninou et *al.*, 2011 ; Belhadi et *al.*, 2016).

L'enquête auprès des agriculteurs des sites d'étude a révélé que 68% d'entre eux versent le reste de leurs produits phytosanitaires dans le champ après l'application. En outre, 19 %

conservent leurs préparations pendant plusieurs jours pour effectuer des traitements successifs. Tandis que, 10 % d'entre eux jettent les restes de cuves dans un endroit réservé aux matériaux inutilisés (tab. 24). Ces résultats corroborent avec les résultats de Soudani (2022) qui déclare que l'élimination des restes de cuves par les agriculteurs peut se faire de différentes manières. Il s'agit notamment de l'élimination directe du produit dans les champs ou en dehors, et du stockage du produit en vue d'applications ultérieures. Cependant, le stockage d'une préparation de pesticides déjà utilisée afin de la réutiliser une autre fois sur les cultures risque de la dénaturer, ce qui cause la perte son efficacité sur la cible (Son, 2018). Par contre, selon l'FAO (2002), il faut respecter la quantité des pesticides avant l'application sur la culture, et les produits de rinçage doivent être récupérés, étiquetés et stockés comme produits dilués pour une prochaine application.

Tableau 24. Gestion des restes de cuves par les agriculteurs enquêtés

<i>Reste de la bouille</i>	Nombre d'enquêtés (n)	Fréquence (%)
<i>Déverse dans le champ</i>	251	68,2
<i>Garder dans le pulvérisateur pour l'utiliser plus tard</i>	71	19,3
<i>Déverse dans une rivière plus proche</i>	7	1,9
<i>Déverse dans un endroit réservé au reste des produits non utilisés</i>	39	10,6

Conclusion

Les pesticides utilisés sont achetés dans la majorité des cas dans les marchés locaux sans garantie de conformité et de qualité. Cela va contribuer à intensifier les traitements et par conséquent à exposer encore les agriculteurs qui sont faiblement protégés, et les consommateurs aux risques chimiques. Les déchets de pesticides qui sont abandonnés dans la nature, et l'utilisation des doses souvent plus fortes que celles recommandées contribuent également à polluer l'environnement.

L'analyse des indices de fréquence de traitement (IFT) et de pression phytosanitaire (IPP) met en évidence des disparités notables entre les cultures et les sites étudiés. Pour les pommiers, les valeurs d'IFT restent globalement modérées, tandis que la culture du blé, notamment à Remila, affiche des niveaux de pression phytosanitaire préoccupants. Ces écarts reflètent des stratégies de protection différenciées, influencées par les conditions agroécologiques et les pratiques locales.

Les résultats soulignent la nécessité d'optimiser l'usage des pesticides afin de limiter leur impact environnemental, en privilégiant des méthodes alternatives et une gestion intégrée des cultures. Par ailleurs, l'évaluation de l'exposition des opérateurs révèle une forte vulnérabilité liée à l'absence d'équipements de protection, appelant à des mesures préventives pour réduire les risques sanitaires.

Ces observations s'inscrivent dans une démarche plus large de transition agroécologique visant à concilier productivité et durabilité des systèmes agricoles.



CHAPITRE IV : EVALUATION DES RISQUES DE DERIVE



Introduction

L'évaluation du risque de dérive lors de la pulvérisation est essentielle pour garantir la sécurité des opérateurs et limiter l'impact environnemental des traitements phytosanitaires. Ce chapitre analyse les résultats des essais en soufflerie aérodynamique afin d'évaluer l'exposition des opérateurs et la dispersion des gouttelettes en fonction du type de buse, des conditions de pulvérisation et des paramètres environnementaux. L'objectif est d'identifier les configurations les plus sûres et les plus efficaces pour réduire la dérive tout en maintenant une performance agronomique optimale.

I. Méthodologie de travail

1. Essais effectués dans la soufflerie aérodynamique

Les essais ont été réalisés dans la soufflerie aérodynamique de pulvérisation de l'INRGREF-Tunis.

1.1.Caractéristiques de la soufflerie aérodynamique de l'INRGREF-Tunis

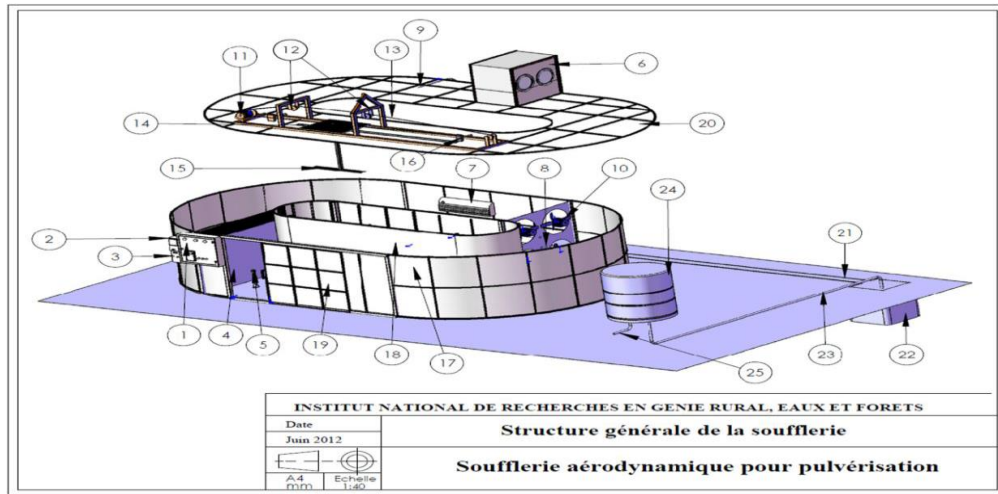
La soufflerie a été conçue et construite en 2010 par l'équipe de machinisme agricole du laboratoire de génie rural de l'INRGREF-Tunis pour répondre à la nécessité de mener des recherches sur la pulvérisation des cultures dans des conditions contrôlées (Allagui, 2019).

Il s'agit d'un tunnel horizontal, étanche, en circuit fermé, avec des parois en polycarbonate, utilisé pour mesurer les dépôts de pesticides tout en contrôlant les facteurs climatiques (vitesse du vent, température, humidité relative) et les paramètres de pulvérisation (type et taille des buses, pression de travail, hauteur et espacement des buses, vitesse de la rampe) (Allagui, 2019).



Figure 22 : Vue extérieure de la soufflerie aérodynamique de l'INRGREF-Tunis (original, 2022).

La soufflerie est caractérisée par une longueur totale de 30 m, une veine d'essais d'une longueur de 10 m et d'une section de 4 m². Elle renferme différents composants qui sont schématisés ci-dessous.



1. Armoire de commande et d'acquisition des données
2. Système de conditionnement de la température, de l'humidité et module de ventilation
3. Commande de la rampe
4. Nid d'abeille
5. Sonde de mesure des paramètres climatiques
6. Groupe de froid
7. Climatiseur
8. Chauffage
9. Buse d'humidification
10. Module de ventilation
11. Moteur de la rampe
12. Poulies de transmission
13. Courroie de transmission
14. Plateau mobile de la rampe
15. Rampe mobile
16. Capteur de position de la rampe mobile
17. Paroi extérieure de la soufflerie en polycarbonate
18. Paroi intérieure de la soufflerie en polycarbonate
19. Porte glissante
20. Plafond de la soufflerie
21. Collecteur de la solution utilisée
22. Système de pompage et de contrôle du niveau de solution utilisée
23. Circuit d'évacuation de la solution utilisée
24. Réservoir de stockage de la solution utilisée
25. Bouchon de vidange solution utilisée

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES EN GENIE RURAL, EAUX ET FORETS	
Date Juin 2012	Nomenclature de la soufflerie
A4 mm Echelle 1:40	Soufflerie aérodynamique pour pulvérisation

Figure 23 : Caractéristiques générales des différents compartiments de la soufflerie aérodynamique de l'INRGREF-Tunis (Bahrouni et al., 2013).

1.2. Déroulement des essais en soufflerie aérodynamique

Le volume par hectare de bouille utilisé est de 200 l/ha. Le volume par hectare utilisé sur terrain par les agriculteurs de la région d'étude correspond à 400 l/ha, donc nombre des impacts trouvé / cm² lors des essais en soufflerie sera multiplié par deux. La vitesse d'avancement est de **8 km/h** avec une hauteur de rampe de **0.5 m**, une température de **25°** et une humidité relative de **50%**.

Le débit d'une rampe est :

$$q \text{ (l/min)} = \frac{Q \text{ (l/ha)} \times V \text{ (Km/h)} \times L \text{ (m)}}{600}$$

Trois répétitions ont été effectuées pour chaque essai, en mesurant à chaque fois le nombre d'impact / cm² sur les papiers hydrosensible (75 x 25 mm).



Figure 24. Vue de la cuve de pulvérisation et de la boîte de contrôle des facteurs climatiques (original, 2022).

Les essais ont été effectués par un pulvérisateur à pression de liquide à jet projeté, équipé de trois buses, soit une largeur de travail de 1,5 m. La rampe est immobile pendant 10 secondes (cas de traitement par pistolet) et avec trois dispositifs à trois positions différentes.



Figure 25. Un essai avec une rampe immobile pendant 10 secondes (original, 2022).

Les buses sélectionnées pour cette étude sont la buse à turbulence classique, largement utilisée par les agriculteurs algériens, de marque Europe rouge 80° (CL T 80), la buse à fente classique, de marque Europe bleu 110°03 (CL F 11003), la buse à fente classique, de marque ISO rouge 110°04 (CL F 11004), la buse à fente anti-dérive, de marque ISO bleu 110°03 (AD F 11003), et la buse à fente anti-dérive, de marque ISO jaune 110°02 (AD F 11002).

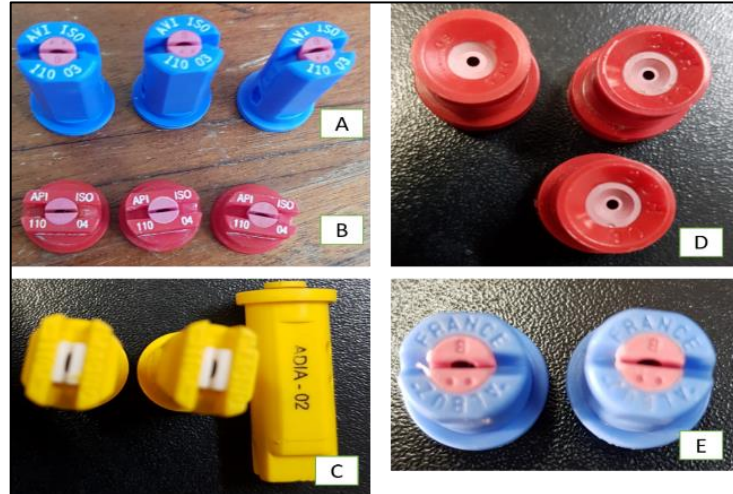


Figure 26. Buses de pulvérisation utilisées lors des essais en soufflerie aérodynamique (original, 2022).

A : buse à fente anti dérive **ADF11003** ; B : buse à fente classique **CLF11004** ; C : buse à fente anti dérive **ADF11002** ; D : buse à turbulence rouge ; E : buse à fente classique **CLF11003**

Les pressions sont fixées après calcul du débit de chaque buse utilisée comme suit :

P₁ (3.5 bars), **P₂** (2.5 bars), **P₃** (3.8 bars), **P₄** (5 bars) et **P₅** (7 bars).

Deux vitesses de vent sont appliquées pour chaque pression

V₁ (3 m/sec) et **V₂** (2 m/sec).

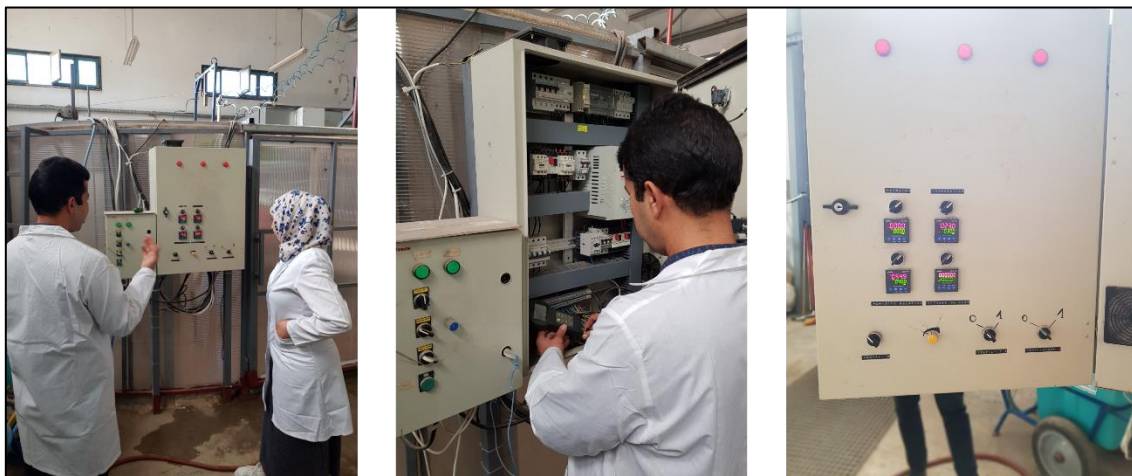


Figure 27. Boîte de contrôle et de réglage de la pression, vitesse d'avancement, humidité et température dans la soufflerie (original, 2022).

Les distance entre les trois dispositifs d'accrochage de papiers hydrosensibles et la rampe sont :

D₁ (2 m)

D₂ (4 m) et **D₃** (6 m)



Figure 28. Placement des dispositifs d'accrochage des papiers hydrosensibles dans la soufflerie aérodynamique (original, 2022).

Les hauteurs marquées sur les dispositifs sont :

H₁ (0.6 m), **H₂** (1.2 m) et **H₃** (1.8 m)

Pour le troisième dispositif on a ajouté trois niveaux d'hauteurs : **H₄** (0.5 m), **H₅** (1 m) et **H₆** (1.5 m).

Au niveau de chaque marque d'hauteur on a placé un papier hydrosensible (75x25mm).



Figure 29. Mise des marques des hauteurs sur les dispositifs (original, 2022).

A chaque changement de buse, le débit est mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée.



Figure 30. Changement de buse et mesure du débit (original, 2022).

Le tableau (25) présente un récapitulatif des principaux éléments et de leur signification dans le contexte des essais en soufflerie. Il facilite la compréhension des paramètres de mesure (distance, hauteur et vitesse d'avancement), des indicateurs de risque (couverture totale et valeurs numériques), des types de buses (AXI et AVI) et des codes techniques (couleur, pression et nomenclature).

Tableau 25. Principaux éléments des essais et leurs significations

Symbole / paramètre	Signification
D_1, D_2, D_3	
$H_{0,6}, H_{1,2}, H_{1,8}, H_{0,5}, H_1, H_{1,5}$	
V_1, V_2	
Couverture totale	
Valeurs numériques	
AXI	
AVI	
Code couleur (bleu, rouge ...)	
P_1, P_2, P_3, P_4 et P_5	
11002, 11003, 11004	

2. Evaluation de la dérive

Le but de la pulvérisation est de placer une dose efficace et uniforme du produit sur une zone cible, sans danger et en temps opportun. Tout produit qui n'est pas déposé sur la cible constitue une perte. Les pertes comprennent la dérive (vapeur et gouttelettes), le ruissellement et tout dépôt ailleurs que sur la cible. Les pertes nuisent à l'efficacité de la pulvérisation et font augmenter les risques de contamination de l'environnement (Deveau, 2010).

La dérive de pulvérisation est la part de gouttelettes de produits entraînée hors de la zone de traitement phytosanitaire. Elle est mesurée par le rapport entre la quantité de produit se retrouvant hors de la parcelle et celle appliquée en plein sur la parcelle.

2.1. Influence des conditions météorologiques

La vitesse du vent et sa direction, la température, l'humidité et les précipitations sont des facteurs importants agissant sur les dépôts des pesticides.

Selon Chambre d'agriculture (2017), il est important de respecter certaines conditions :

- ✓ L'hygrométrie optimale se situe à 70% et plus, elle favorise la dilatation des cires cuticulaires et la pénétration des produits.
- ✓ La rosée favorise l'efficacité des produits à condition de ne pas entraîner de ruissellement sur le feuillage.
- ✓ Le vent entraîne de la dérive et assèche les feuilles. L'arrêté du 12 septembre 2006 interdit de traiter si le vent dépasse 19 km/h.
- ✓ La température est également déterminante de l'efficacité et la sélectivité des traitements, le plus souvent compris entre 5° C et 20° C, à l'exception de quelques produits spécifiques appliqués en fin d'automne.
- ✓ L'humidité du sol doit être suffisante pour les produits racinaires.
- ✓ Absence des pluies au moment du traitement pour les produits foliaires. Un temps minimum de 2 heures est nécessaire pour éviter un lessivage par la pluie.
- ✓ Absence de stress hydrique et thermique et une végétation poussante seront aussi favorables à la réussite des traitements.

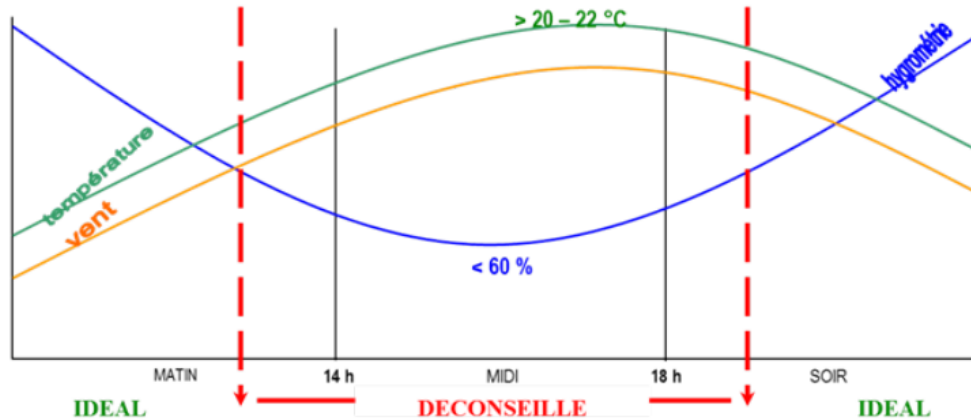


Figure 31. Temps idéal pour appliquer les traitements (Chambre d’agriculture, 2017).

2.2. Influence des paramètres de pulvérisation

2.2.1. Vitesse d’avancement

Le choix du moment de l’opération est très important. Il doit être fait en fonction du stade de croissance des ravageurs, de la pression exercée par ceux-ci, des fonctions météorologiques et de cadence de travail. De façon générale, effectuer la pulvérisation dirigée entre 4 et 6 km/h. une étude portant sur le traitement par pulvérisateur à rampe a montré qu’en réduisant la vitesse d’avancement de 8 à 6 km/h, on peut réduire la dérive de moitié (Deveau, 2010).

Dans les vergers de pommes, il a été démontré qu’avec des débits d’air élevés à faible vitesse, et avec une vitesse d’avancement réduite, un plus grand volume d’air pénétrait dans les arbres (Deveau, 2010).

2.2.2. Choix de la buse

Selon Chambre d’Agriculture (2017), La buse est l’organe de pulvérisateur le plus important. Son rôle est d’assurer la meilleure couverture possible de la cible (végétal ou insecte) tout en limitant la dérive.

Une buse se caractérise par son :

- ✓ Angle de la buse pour les grandes cultures, les angles les plus répandus sont 80° et 110°. Concernant la dérive, les buses 80° offrent l’avantage de générer un spectre de gouttelettes plus grossier que les buses 110° mais exigent une hauteur de rampe plus importante.
- ✓ Débit de la buse dépend de la qualité de bouillie à épandre (L/ha), la vitesse d’avancement (km/h) et l’écartement entre les buses (cm).

- ✓ La composition de la buse (type de matériaux disponibles : la résine, l'inox, la céramique).

2.2.3. Hauteur de pulvérisation

Selon Chambre d'agriculture (2017), Le choix de la hauteur de rampe, en grandes cultures, est un point capital pour la réussite d'un traitement. En effet, cette hauteur dépendra la qualité de la répartition du produit sous la rampe, mais aussi le risque de dérive lors de l'application.

La hauteur de la rampe doit être ajustée en fonction de l'angle de la buse :

- ✓ Pour une buse à 110° , le triple recouvrement est obtenu à une hauteur supérieure à 50 à 70 cm de la cible.
- ✓ Pour une buse à 80° , il faudra positionner la rampe à 80 à 100 cm minimum au-dessus de la cible pour y parvenir.

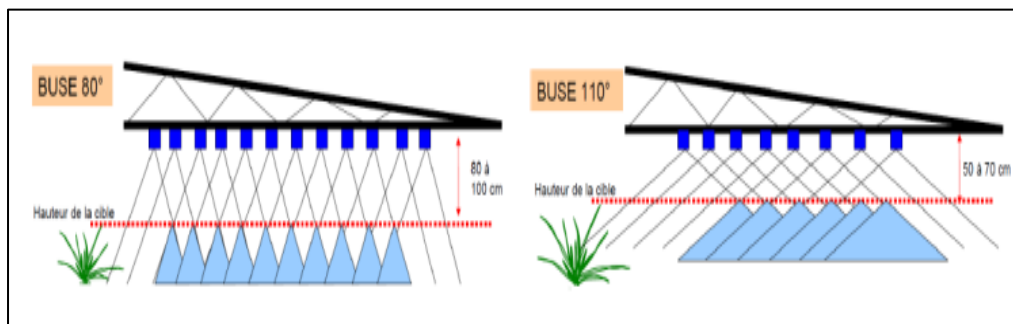


Figure 32. Relation entre la hauteur de la rampe et l'angle des buses (Chambre d'agriculture, 2017).

2.2.4. Pression de pulvérisation

La pression d'utilisation dépend du modèle de la buse utilisé (pour une même buse, le volume à l'hectare augmente avec la pression).

2.2.5. Taille des gouttes

La taille optimale des gouttes est comprise entre 250 et 350 μm . La formulation des produits a également une influence sur la taille des gouttes.

Tableau 26. Taille des gouttelettes en fonction de la formulation des produits (Chambre d'agriculture, 2017).

Formulation	WG	SC	SL	EW	EO	EC
Taille des gouttelettes	Tendance à faire des gouttes fines			Gouttes fines à moyennes		Grosses gouttes
	100 µm	250 µm		350 µm	400 µm	
	Risque de dérive		Taille optimale			Ruissellement

Figure 33. Taille des gouttelettes optimales pour un traitement idéal (Chambre d'agriculture, 2017).

2.2.6. Nombre d'impacts

En fonction de la cible choisie est repris dans le tableau

Tableau 27. Nombre d'impacts en fonction de la cible (Chambre d'agriculture, 2017).

Nombre d'impacts à rechercher / cm ²			
Herbicide	Prélevée		20 -30
	Post-levée	Systémique	30 -40
		Contact	50 -70
Fongicide	Systémique		30 -40
	Contact		60 -70
Insecticide	Systémique		20 -30
	Contact		30 -40
	Ingestion		30 -40

L'efficacité du traitement est liée à la qualité de répartition de la bouillie. Elle dépend du nombre d'impacts et de la taille des gouttes.

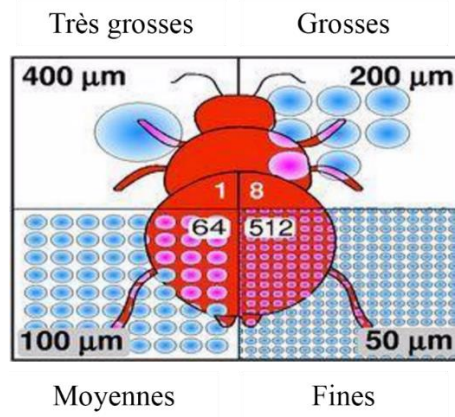


Figure 34. Relation entre tailles des gouttelettes et taux de couverture (Chambre d'agriculture, 2017).

II. Résultats et discussions

1. Evaluation du risque de dérive pour l'opérateur

Les photographies des papiers hydrosensibles à l'issue des essais réalisés en soufflerie aérodynamique de l'INRGREF-Tunis présentent des tests de mesure (nombre d'impacts / cm^2) de l'exposition réalisés pour évaluer la sécurité des opérateurs dans différentes conditions de pulvérisation.

Tableau 28. Résultats des mesures de la dérive relatifs à l'exposition de l'opérateur.

Type des buse		Code ISO ou Europe	Pression	Vitesse	D ₁ = 2 m								
					R ₁			R ₂			R ₃		
					H _{0.6}	H _{1.2}	H _{1.8}	H _{0.6}	H _{1.2}	H _{1.8}	H _{0.6}	H _{1.2}	H _{1.8}
Buse classique	A turbulence	80 Rouge	P ₄ = 5 bars	V ₁									
	A fente (AXI)	11003 Bleu	P ₁ = 3.5 bars	V ₁									
				V ₂									
		11004 Rouge	P ₂ = 2,5 bars	V ₁									
				V ₂									
		11003 Bleu	P ₃ =3,8 bars	V ₁									
				V ₂									
		11002 Jaune	P ₅ =7 bars	V ₁									
Buse antidérive	A fente antidérive (AVI)	11003 Bleu	P ₃ =3,8 bars	V ₂									
				V ₁									
Buse antidérive	A fente antidérive (AVI)	11002 Jaune	P ₅ =7 bars	V ₁									
				V ₂									

Ces résultats confirment ceux présentés dans le troisième chapitre (évaluation de risque) lors de l'évaluation expérimentale de l'exposition des opérateurs.

2. Evaluation du risque de dérive pour l'environnement

Les tableaux (29) et (30) résument les résultats des essais de mesures en soufflerie aérodynamique. Une analyse de l'effet de la vitesse de vent et de la taille des buses sur la dérive de pulvérisation permettra d'évaluer les risques environnementaux.

Ces résultats soulignent l'importance du choix des buses et des conditions d'utilisation pour assurer la sécurité de l'opérateur et de minimiser la dérive dans l'environnement.

Tableau 29. Mesures de la dérive à distance de 4m (risque pour l'environnement).

Type des buse		Code ISO ou Europe	Pression	Vitesse	D ₂ = 4 m								
					R ₁			R ₂			R ₃		
					H _{0.6}	H _{1.2}	H _{1.8}	H _{0.6}	H _{1.2}	H _{1.8}	H _{0.6}	H _{1.2}	H _{1.8}
Buse classique	A turbulence	80 Rouge	P ₄ = 5 bars	V ₁									
				V ₂									
	A fente (AXI)	11003 Bleu	P ₁ = 3.5 bars	V ₁									
				V ₂									
		11004 Rouge	P ₂ = 2,5 bars	V ₁									
				V ₂									
Buse antidérive	A fente antidérive (AVI)	11003 Bleu	P ₃ =3,8 bars	V ₁									
				V ₂									
		11002 Jaune	P ₅ =7 bars	V ₁									
				V ₂									

Tableau 30. Mesures de la dérive à la distance de 6 m (risque pour l'environnement).

Type des buse		Code ISO ou Europe	Pression	Vitesse	D ₃ = 6 m																	
					R ₁						R ₂						R ₃					
					H _{0,6}	H _{1,2}	H _{1,8}	H _{0,5}	H ₁	H _{1,5}	H _{0,6}	H _{1,2}	H _{1,8}	H _{0,5}	H ₁	H _{1,5}	H _{0,6}	H _{1,2}	H _{1,8}	H _{0,5}	H ₁	H _{1,5}
Buse classique	A turbulence	80 Rouge	P ₄ = 5 bars	V ₁																		
	A fente (AXI)	11003 Bleu	P ₁ = 3.5 bars	V ₁																		
				V ₂																		
		11004 Rouge	P ₂ = 2,5 bars	V ₁																		
V ₂																						
Buse antidérive	A fente antidérive (AVI)	11003 Bleu	P ₃ =3,8 bars	V ₁																		
				V ₂																		
		11002 Jaune	P ₅ =7 bars	V ₁																		
				V ₂																		

1.1.Effet du type de buse sur la dérive

Le choix d'une buse est un perpétuel compromis entre l'efficacité au champ et la susceptibilité de la dérive. D'un côté, on cherche des gouttelettes fines pour une efficacité optimale et de l'autre, des grosses gouttelettes pour limiter la dérive. Il n'est pas donc toujours facile de réaliser le choix de la buse la mieux adaptée à la situation de travail.

Tableau 31. Comparaison entre les types buses utilisées lors des essais en soufflerie.

Buse a turbulence	Buse a fente (AXI 11003)	Buse anti-dérive (AVI 11003)

1.2. Effet de la vitesse du vent sur la dérive

Une réduction de la vitesse du vent de 3m/s à 2m/s entraîne une diminution significative de la dérive pour toutes les buses testées.

- ✓ Pour la buse antidérive AVI 11003 bleue à 4m, la dérive diminue de : 404-595 impacts/cm² (V1) à 191-211 impacts/cm² (V2), soit une réduction d'environ 60%

Cette relation s'explique par la force de transport aérodynamique qui est proportionnelle au carré de la vitesse du vent ($F \propto v^2$). Les gouttelettes de petites tailles, plus légères sont particulièrement sensibles à cet effet.

1.3. Effet de la hauteur de pulvérisation sur la dérive

L'augmentation de la hauteur accroît généralement la dérive. Ce phénomène s'explique par :

- ✓ Un temps de chute plus long exposant d'avantage les gouttelettes au vent
- ✓ Une plus grande surface d'exposition aux turbulences atmosphériques

Les buses antidérive montrent une sensibilité moindre à la hauteur de traitement

1.4. Effet de la distance sur la dérive

1.5. Effet de la pression sur la dérive

L'augmentation de la pression accroît significativement la dérive.

- ✓ P1 (3.5 bars)
- ✓ P4 (5 bars) :
- ✓ P5 (7 bars) :

Cette corrélation s'explique par la relation entre la pression et la taille des gouttelettes.

Effet du calibre des buses sur la dérive

Les buses de plus gros calibre (04 rouge et 03 bleu)

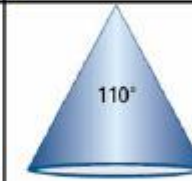
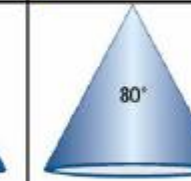
Buse				
Jet: forme & angle				
Taille des gouttes				
P(bar)	2 - 4	2 - 4	3 - 7	3 - 20
Dérive	Moyenne	Faible	Très faible	Faible

Figure 35. Dérive résultant de principaux types de buses (Bahrouni, 2010)

a : buse à fente classique, b : buse antidérive à pastille de calibrage, c : buse antidérive à aspiration d'air, d : buse à turbulence classique.

L'augmentation de la pression influe sur la taille des gouttelettes et cette hausse de pression présente une réduction du VMD des gouttes pour les buses anti dérive, Ce qui est confirmé par les résultats trouvés par Dorr *et al.* (2013).

Selon Allagui (2019), le type de buse, son calibre, la pression de travail et la vitesse du vent sont des facteurs-clés aussi bien pour le taux de résidus de pesticides dans les capitules de l'artichaut, que pour le taux de rétention sur la végétation que pour les quantités perdues sous la plante. L'interaction entre l'analyse granulométrique des configurations type de buse-calibre-pression étudiées et les différents taux correspondants montre que les grosses et les fines gouttelettes sont synonymes de faibles taux de résidus de pesticides, de taux de rétention réduits sur la plante et de grandes pertes de bouillie dans l'environnement.

Conclusion

Les résultats du présent chapitre soulignent l'importance du choix des buses et des conditions de pulvérisation pour réduire le risque d'exposition des opérateurs et limiter la dérive environnementale. Les buses à turbulence présentent un risque élevé pour l'opérateur en raison de leur forte dispersion des gouttelettes, tandis que les buses antidérive, notamment la buse AVI 11003 bleue, offrent une sécurité accrue en réduisant considérablement la dérive. De plus, plusieurs facteurs influencent la dérive, notamment la vitesse du vent, la hauteur de pulvérisation, la distance, la pression et le calibre des buses. Une meilleure gestion de ces paramètres permet d'améliorer l'efficacité de la pulvérisation tout en minimisant les impacts environnementaux et sanitaires.



***CHAPITRE V : ESSAI
D'OPTIMISATION TECHNIQUE
DE LA PULVERISATION***



Introduction

L'application de produits phytopharmaceutiques par pulvérisation est une pratique courante dans la production agricole. Le processus est basé sur la fragmentation d'une bouillie liquide, qui est une dilution d'un produit chimique dans de l'eau. La fragmentation de la bouillie peut donner lieu à une variété de modèles de pulvérisation et de tailles de gouttelettes, en fonction du type et de la taille des buses hydrauliques utilisées.

Afin d'assurer une application rationnelle de ces produits, l'opérateur doit être en mesure de choisir une méthode appropriée, de démontrer sa maîtrise de la technologie d'application, de connaître les caractéristiques des formulations chimiques utilisées dans la préparation de la bouillie et d'adapter le jet de pulvérisation au couvert végétal ciblé et aux conditions climatiques (El Aissaoui A., 2015).

Cette étape de travail vise à optimiser les pratiques de pulvérisation phytosanitaires chez les agriculteurs de la région d'étude. L'objectif principal est de caractériser et de comparer les techniques de pulvérisation actuellement utilisées par les agriculteurs locaux avec les recommandations standards de référence, afin de fournir des conseils pratiques adaptés au contexte local.

I. Méthodologie de travail

1. Présentation de la commune et des sites d'expérimentation

La wilaya de Khenchela est divisée en huit daïras qui sont divisées en vingt et une communes à leur tour. Parmi ces communes, Yabous (daïra de Bouhmama) appartenant au contexte géographique particulier des Aurès faisant partie de l'Atlas saharien (D.S.A., 2020).

La commune de Yabous est située à 60 km à l'Ouest de la wilaya de Khenchela et au contrefort du mont des Aurès entre 35°24'29" Nord, 6°38'31" Est, Latitude de 35.4081 et Longitude de 6.64184 (Google Map, 2024).



Figure 36. Situation géographique de commune de Yabous (Google Map, 2024)

Cette commune s'étend sur une superficie de 15634 ha, dont la superficie agricole est estimée à 6178 ha. Elle se caractérise par un sol très profond, de couleur brune peu calcaires. C'est une zone arboricole où la culture du pommier est très répandue et où l'on cultive aussi des céréales (D.S.A., 2024).

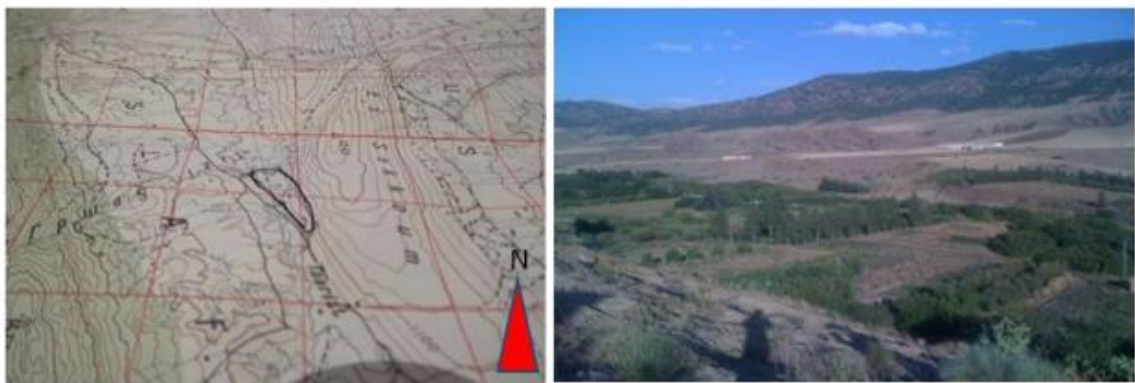


Figure 37. Zone d'étude (Téghaza) (Echelle 1 / 50 000) (Original, 2024).

Cette zone est caractérisée par sa nature semi-aride à continentale, marquée par une alternance saisonnière bien définie. Les hivers y sont généralement froids, avec des chutes de neige fréquentes en altitude et des températures moyennes minimales pouvant descendre en dessous de 0 °C. Tandis que les étés se révèlent chauds et secs avec des températures moyennes maximales dépassant souvent 35°C. Les précipitations, bien que modérées sur l'année, oscillent entre 400 et 600 mm avec une distribution irrégulière au cours de l'année et relativement plus importantes en automne et au printemps (A.N.R.H., 2019).

Le relief montagneux de la région influence fortement les pratiques agricoles locales. Les versants et les vallées de Yabous sont traditionnellement exploités par l'agriculture avec une prédominance de l'arboriculture adaptée aux conditions climatiques locales (D.S.A., 2024).

Le choix du site d'expérimentation est motivé par la coexistence du pommier et de céréaliculture, et l'utilisation intensive des pesticides qui accompagne ces types de cultures. Deux exploitations agricoles ont servi de sites expérimentaux à nos essais, une exploitation de pommier ① et une exploitation de céréales (blé) ②.

Tableau 32 : Présentation des sites d'expérimentation

Exploitation	Superficie	Culture	Plantation	Source d'eau
①	750 m ² (L = 50 m ; Lr = 15 m)	Pommier (+ de 20 ans)	3 m sur 2.5 m (40 arbres de pommier)	Puits artésien de 100 m de profondeur.
②	2 ha	Blé (semis le 12-01- 2024)	/	Bassin d'eau agricole de 9 m de hauteur



Figure 38. Localisation géographique des sites expérimentaux (Google Map, 2024)

2. Préparation des essais expérimentaux

2.1. Usage du papier hydrosensible

Les papiers hydrosensibles, sont des outils de diagnostic essentiels dans l'évaluation de la qualité des pulvérisations agricoles. Il s'agit de papiers spéciaux recouverts d'une surface

jaune qui devient bleue au contact de l'eau, permettant ainsi de visualiser et d'analyser la distribution des gouttelettes lors des applications de produits phytosanitaires (Fox et *al.*, 2023).

L'analyse de ces papiers peut être réalisée de manières visuelles pour une évaluation rapide sur terrain, ou de façon plus précise à l'aide de système d'analyse d'image informatisé (Image j). Les paramètres couramment mesurés incluent le nombre d'impacts par cm², la taille moyenne des gouttelettes, le taux de recouvrement et l'homogénéité de la distribution (Deveau et Zhang, 2020).

La conservation et la manipulation des papiers hydrosensibles nécessitent des précautions particulières. Ils doivent être stockés dans un environnement sec, à une température comprise entre 15 et 30°C, et manipulés avec des gants pour éviter toute contamination par l'humidité des doigts. Leur durée de conservation est généralement de 2 à 3 ans dans ces conditions optimales (ACTA, 2021).

Les papiers hydrosensibles utilisés sont de marque Syngenta et ont des dimensions de 75mm x 26 mm.

Pour les pulvérisateurs agricoles appliquant des grands volumes, on agrafe les papiers hydrosensibles sur une latte en bois qu'on place sur une seule largeur de passe en laissant un espace pour les roues du tracteur (Syngenta crop Protection, 2022). Tandis que pour les pulvérisateurs portés dans les vergers, on agrafe les papiers hydrosensibles directement sur les feuilles en périphérie et à l'intérieur de la canopée en haut, au centre et en bas des arbres (Syngenta crop Protection, 2022). Il faut répartir les papiers hydrosensibles sur toute la hauteur du feuillage, en fixer sur les boutons floraux, sur les faces supérieur et inférieur des feuilles et sur les fruits (Daniel, 2005).

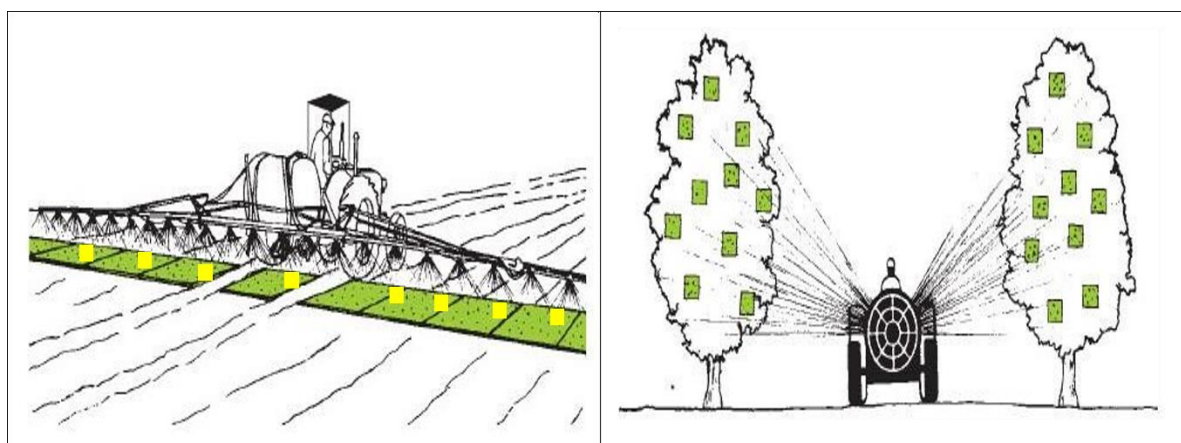


Figure 39. Répartition des papiers hydrosensible sur un champ de céréales et sur des arbres fruitiers (Syngenta crop Protection, 2022) (Modifier).

2.2. Equipement de pulvérisateur

Les pulvérisateurs agricoles constituent un élément fondamental dans la protection des cultures, avec une diversité d'équipements adaptés aux différentes situations agricoles. Selon Douzals et *al.* (2020), le choix du type de pulvérisateur est principalement déterminé par la surface à traiter, le type de culture et les contraintes technico-économiques de l'exploitation.

Dans le cadre d'exploitations agricoles de taille moyenne, l'agriculteur utilise un pulvérisateur porté, fixé à l'attelage trois points du tracteur, avec une cuve de 400 litres et des tuyaux de 10 mètres de long. Le pulvérisateur est équipé d'un pistolet pour l'application des traitements sur les pommiers et d'une rampe pouvant atteindre 10 mètres et 21 buses (50 cm entre deux buses) pour les traitements phytosanitaires sur les céréales.

2.3. Réglages du pulvérisateur

Un contrôle du régime de la prise de force (PTO) doit être effectué (la PTO doit être réglée à 540 tr/min). Un marqueur doit être placé en face de l'aiguille du nombre de tours par minute (RPM) du moteur lorsque la prise de force est réglée sur 540 tr/min. Deux marqueurs doivent être placés à 100 mètres l'un de l'autre dans la parcelle.

Le chronomètre doit être déclenché lorsque la roue avant dépasse le premier repère (0 mètre). Le chronomètre doit être arrêté lorsque la roue avant passe le deuxième repère (100 mètres).

- ✓ Noter le nombre de secondes mises pour parcourir 100 m. On calcule la vitesse d'avancement par la formule suivante :

$$vitesse\ d'avancement(km/h) = \frac{360}{temps\ (sec)\ pour\ faire\ 100\ m}$$

Ou par la formule suivante :

$$vitesse\ d'avancement(km/h) = \frac{Distance\ (m) \times 3,6}{temps\ (sec)\ pour\ faire\ 100\ m}$$

- ✓ Contrôle débit en fonction de volume par hectare,
- ✓ Choix des buses et le calibre adéquat pour obtenir un débit d'eau nécessaire (L/min) et la taille des gouttelettes adaptées pour le type de traitement (tab. 33).
- ✓ Contrôle de pressions de mise en service des buses appropriées pour la grosseur et la densité des gouttelettes.

Tableau 33 : Couleurs, codes, tailles des gouttelettes et débit relatifs des buses (standard ISO)

Couleur	Code ISO de buse	Catégorie du jet	Tailles des gouttelettes	Débit de buse à 3 bars
Orange	110-01	Très fine – fine	140-180 µm	0,4 L/min
Jaune	110-02	Fine – moyenne	180-220 µm	0,8 L/min
Bleu	110-03	Moyenne-grossière	220-300 µm	1,2 L/min
Rouge	110-04	Grossière-très grossière	300-400 µm	1,6 L/min

- ✓ Déterminer le débit total donné par la rampe sur toute la largeur de pulvérisation par la formule suivante :

$$\text{Débit total (L/min)} = \text{Débit d'une buse (L/min)} \times \text{Nombre de buses}$$

- ✓ Calculer le volume réel de bouillie à appliquer par hectare par la formule suivante :

$$\text{Volume de bouillie (L/ha)} = \frac{\text{Débit total (L/min)} \times 600}{\text{Largeur (m)} \times \text{vitesse d'avancement (km/h)}}$$

- ✓ Calculer la quantité de produit phytosanitaire à mettre dans la cuve (quantité de produit à apporter) par la formule suivante :

$$\text{Quantité de produits} \left(\frac{\text{L}}{\text{ha}} \text{ ou } \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Dose homologuée} \left(\frac{\text{L}}{\text{ha}} \text{ ou } \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) \times \text{Surface traitée (m}^2\text{)}}{10\,000 \text{ (m}^2\text{/ha)}}$$

Ou par la formule suivante :

$$\text{Quantité de produit} \left(\frac{\text{L}}{\text{ha}} \text{ ou } \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Dose homologuée} \left(\frac{\text{L}}{\text{ha}} \text{ ou } \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) \times \text{Volume d'eau (L)}}{\text{Volume réel de bouillie (L/ha)}}$$

3. Recommandations standards de référence

Le diagnostic des pratiques phytosanitaires des agriculteurs de la région de Khenchela a permis d'identifier des écarts entre les pratiques actuelles et les recommandations techniques pour des conditions similaires. Cette situation nécessite d'améliorer l'efficacité des traitements tout en limitant les risques pour l'environnement et la santé.

Il faut donc chercher le bon compromis en termes de, taille de gouttes, pression, volume par hectare, hauteur de pulvérisation et vitesse d'avancement pour satisfaire de double objectif

de réussir le traitement phytosanitaire tout en limitant les risques sanitaires et environnementaux.

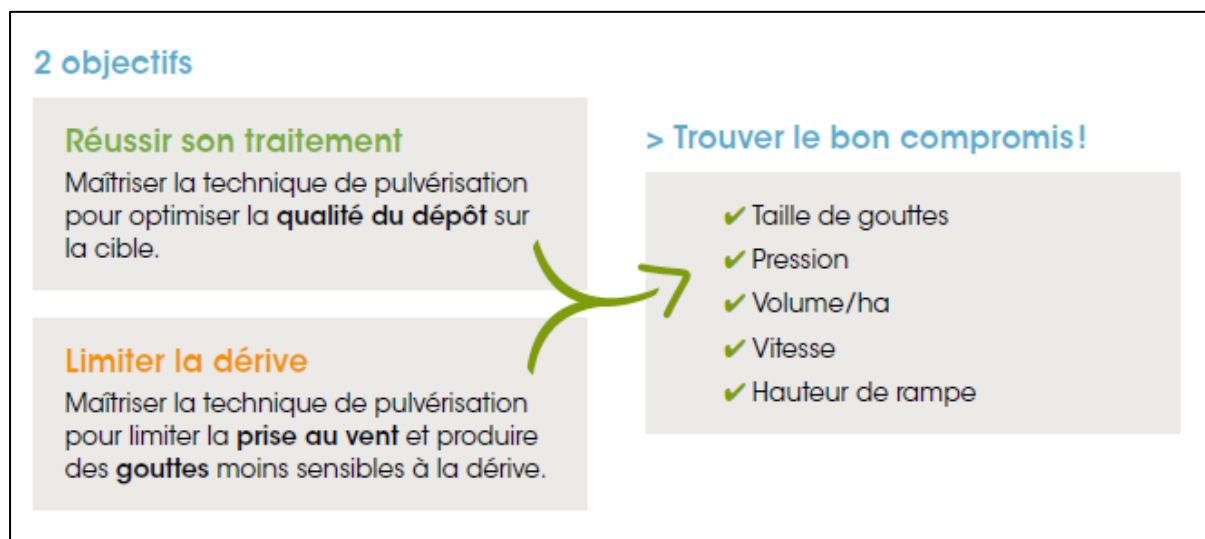


Figure 40. Schéma des bonnes pratiques agricoles et environnementales (PROTECT'eau, 2021).

Selon ACTA (2019), en terme de choix de l'équipement, on doit privilégier un pulvérisateur adapté aux cultures, avec des buses qui permettent une meilleure répartition du produit sur le feuillage. Vérifiez régulièrement le bon état et le calibrage du matériel (plus le calibre augmente, plus les gouttes sont grosses).

En ce qui concerne les réglages de l'application, il faudra ajuster la hauteur de la rampe en fonction de la taille des cultures. Pour limiter la dérive, il est conseillé d'adapter la hauteur de la rampe et déduire la vitesse d'avancement du pulvérisateur afin de limiter la prise au vent des gouttelettes de pulvérisation (PROTECT'eau, 2021). Il est aussi conseillé d'opter pour une pression (plus basse pression, plus les gouttes sont grosses) et un débit qui favorisent une granulométrie optimale, limitant ainsi les risques de dérive.

Concernant les conditions météorologiques, il faut tenir compte du vent. Plus le vent est fort et plus le risque de dérive est important. A partir de 5 km/h, il est conseillé d'utiliser du matériel antidérive. Au-delà de 20 km/h, il est interdit de commencer la pulvérisation (PROTECT'eau, 2021). La température et l'hygrométrie (humidité relative) sont aussi à vérifier. Il est recommandé de pulvériser quand la température oscille entre 12 et 20 °C et lorsque l'humidité relative est comprise entre 60 et 95 %. Des conditions chaudes et sèches favorisent l'évaporation de l'eau et concentrent les matières actives dans de plus fines gouttelettes sensibles à la dérive ou à la volatilisation. Des conditions trop humides peuvent

quant à elles, augmenter le ruissellement (PROTECT'eau, 2021). Pour choisir les bons créneaux d'application, on doit éviter les périodes les plus à risque de dérive.

Les bonnes pratiques recommandent de respecter scrupuleusement les consignes d'utilisation des produits et de procéder avec soin au remplissage et au nettoyage du matériel pour éviter toute contamination.

4. Déroulement de l'essai expérimental

Lors de l'essai expérimental, nous avons utilisé un tracteur Cirta équipé d'un pulvérisateur porté avec une cuve de 400 l. Le système de pulvérisation comprend une rampe de 10 mètres dotée de 21 buses, incluant trois types différents : des buses classiques à turbulence métallique, des buses à fente bleues standards et des buses à fente antidérive bleues. Le système est complété par des tuyaux de 10 mètres et un pistolet de pulvérisation pour les pulvérisations arboricoles.

La zone d'expérimentation est soigneusement délimitée en sélectionnant trois pommiers représentatifs de la parcelle. Pour la pulvérisation des céréales, quatre buses sont sélectionnées et montées sur la rampe. Les zones pulvérisées sont de taille homogène pour garantir la validité des comparaisons. Dans chaque zone, des papiers hydrosensibles sont positionnés à différentes hauteurs sur les pommiers : au sommet, au centre et à la base de la canopée, permettant ainsi une évaluation complète de la distribution verticale de la pulvérisation.

La première phase de l'expérimentation consiste à effectuer une série de pulvérisations avec le scénario local des agriculteurs de la région. Durant cette phase, les paramètres opérationnels essentiels sont minutieusement enregistrés, notamment la pression de service, le débit de pulvérisation, la hauteur de la rampe et la vitesse d'avancement du tracteur. La collecte et l'analyse des papiers hydrosensibles permet d'évaluer le taux de couverture et la distribution des gouttelettes.

Une seconde série de pulvérisations est ensuite réalisée en utilisant les paramètres optimisés selon les recommandations standard. Les mêmes paramètres seront enregistrés et les résultats analysés pour permettre une comparaison objective. L'analyse portera sur le taux de couverture, la distribution spatiale des gouttelettes, l'homogénéité de la pulvérisation et la pénétration dans le couvert végétal.

Tout au long de l'expérimentation, une attention particulière est portée à la vérification des conditions météorologiques et aux observations qualitatives. Les mesures de sécurité sont

strictement respectées, incluant le port des équipements de protection individuelle et la gestion appropriée des effluents de pulvérisation. Les données collectées sont soigneusement archivées pour permettre une analyse statistique approfondie et la formulation de recommandations basées sur des preuves empiriques.

Cette méthodologie permet d'évaluer rigoureusement l'efficacité des différentes configurations de pulvérisation et d'identifier les paramètres optimaux pour les conditions locales spécifiques. Les résultats peuvent fournir des indications précieuses pour l'optimisation des pratiques de pulvérisation en arboriculture et en grandes cultures.

II. Résultats et discussion

1. Caractérisation des pratiques de pulvérisation phytosanitaire des agriculteurs

1.1. Analyse des équipements de pulvérisation

Le tracteur Cirta sélectionné pour cette étude est un modèle robuste et polyvalent, couramment utilisé dans les exploitations agricoles de la région. Ses caractéristiques techniques, notamment sa puissance et sa capacité de traction, permettent de supporter efficacement le pulvérisateur porté équipé d'une cuve de 400 l.

Le pulvérisateur porté, quant à lui, présente des avantages significatifs par rapport aux modèles tractés. Sa conception plus compacte offre une meilleure manœuvrabilité dans les vergers et les parcelles de céréales. De plus, la cuve de 400 l permet de couvrir de vastes superficies tout en réduisant les temps de remplissage.



Figure 41. Tracteur et pulvérisateur utilisés pour l'essai expérimental (Original, 2024)

La rampe de pulvérisation de 10 mètres de long, équipée de 21 buses, permet une couverture optimale des cultures. Le choix des trois types de buses (classiques à turbulence

métallique, à fente bleues standards et à fente antidérive bleues) vise à évaluer leur performance respective.



Figure 42. Rampe et pistolet de pulvérisation utilisés en expérimentation (Original, 2024).

a. rampe d'un pulvérisateur b. buse a turbulence

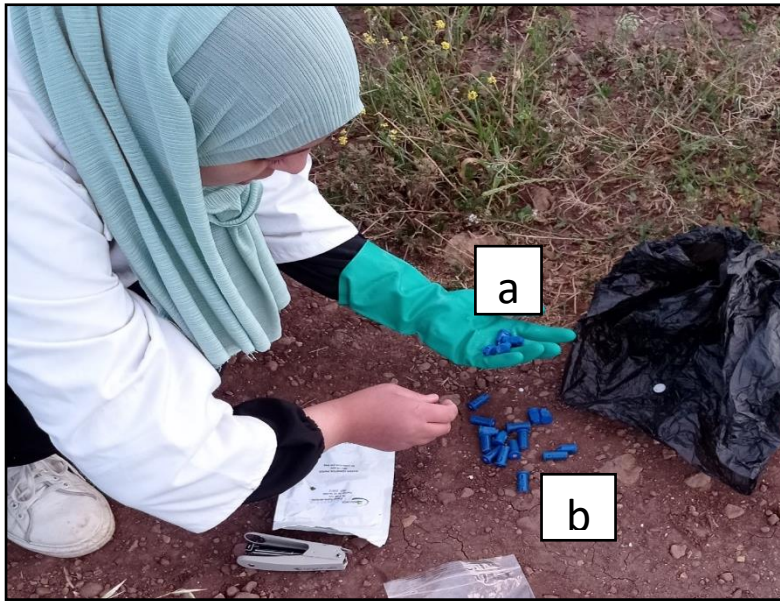


Figure 43. Buses utilisées pour l'essai expérimental (Original, 2024).

a: buse à fente bleu standard, b: buse à fente antidérive bleu.

L'association de ces trois types de buses permet d'évaluer leurs performances respectives et de déterminer la configuration optimale pour les conditions locales spécifiques de la région d'étude.

2. Évaluation des Paramètres Techniques de Pulvérisation

2.1.Pression

La pression de service est un facteur déterminant pour la taille et la distribution des gouttelettes de pulvérisation. Elle est mesurée à l'aide d'un manomètre installé sur le circuit hydraulique du pulvérisateur.

Les pratiques de pulvérisation décrites dans le tableau respectent globalement les recommandations standards en termes de paramètres techniques.

2.2. Débit de Pulvérisation

Le débit de pulvérisation, exprimé en l/min, est mesuré à l'aide d'un débitmètre installé sur la rampe.

2.3. Hauteur de la Rampe

La hauteur de la rampe de pulvérisation par rapport à la cible (sommet de la culture) influence directement la trajectoire des gouttelettes et leur pénétration dans le couvert végétal. Cette hauteur est mesurée et ajustée pour chaque configuration testée afin d'optimiser la couverture (tab. 34).

La hauteur de la rampe par rapport au couvert végétal (50 cm) permet une bonne pénétration des gouttelettes, conformément aux recommandations qui préconisent une hauteur comprise entre 30 et 70 cm selon le type de culture (Matthews, 2008).

2.4. Vitesse d'Avancement

La vitesse d'avancement du tracteur a un impact direct sur le temps de contact entre les gouttelettes et la culture, ainsi que sur le volume de bouillie appliqué par unité de surface (tab. 34).

Tableau 34. Paramètres techniques de pulvérisation pendant l'essai

Buse	Pression	Débits	Vitesse d'avancement	Hauteur de la rampe
Buse à turbulence classique	20 bars	3 l/min	10 km/h	50 cm
Buse à fente standard (bleu)	6 bars	1,66 l/min		
Buse à fente antidérive (bleu)	6 bars	1,72 l/min		

Les paramètres techniques de pulvérisation mis en œuvre dans cet essai semblent bien adaptés aux pratiques agricoles locales et respectent les normes et références standard en matière d'épandage phytosanitaire. Cela devrait permettre d'optimiser l'efficacité du traitement tout en limitant les risques de dérive.

3. Évaluation comparative des dépôts de pulvérisation

Le tableau (35) enregistre les trois applications de produits phytosanitaires réalisées avec VaPcomor (Acétamipride 20%), une Base Soufre, et avec Topik 080 EC (Clodinafop-propargyl). Chaque traitement est caractérisé par des paramètres techniques spécifiques, notamment la matière active, la dose par hectare et le type de buse utilisé (turbulence ou fente).

Tableau 35. Période de traitement et produits utilisés pour l'essai sur terrain

Date	Heure	Météo		Culture	Produit	Matières active	Dose homologué	Type de buse
26/04/2023	11:13 am	T:15 °C	Vent:10 km/h	Pommier	VaPcomor	Acétamipride 20%	50 g / 200 L/ha	A turbulence
					Commando	Imidachlopride 70%		
05/04/2024	5:26 pm	T:24°C	Vent:10 km/h		Base de Soufre	Soufre	1500 g/ha	
10/05/2024	6:55 pm	T: 24 °C	Vent: 15 km/h	Blé	Topik 080 EC	80 g/l Clodinafop- propargyl	0,75 L/ha	A turbulence
								A fente
								A fente antidérive

Une comparaison des tableaux 36 et 37 pour la culture de pommier révèle des différences notables dans la densité d'impact et la taille des gouttes. Le tableau 36,

Tableau 36. Analyse quantitative des résultats des papiers hydrosensibles sur la culture de Pommier (mélange des produits) (2023)

Culture	Echantillon	Position	Densité (Impact/cm ²)		Tailles moyennes des gouttes (µm)	
			Supérieur	Inferieur	Supérieur	Inferieur
Pommier	Arbre 01	Haut				
		Milieu				
		Bas				
	Arbre 02	Haut				

		Milieu				
		Bas				
	Arbre 03	Haut				
		Milieu				
		Bas				

Le tableau 37, qui présente les données relatives au soufre, montre des densités similaires,

Tableau 37. Analyse quantitative des résultats des papiers hydrosensibles sur la culture de Pommier par le Soufre (2024)

Culture	Echantillon	Position	Densité (Impact/cm ²)		Tailles moyennes des gouttes (µm)	
			Supérieur	Inferieur	Supérieur	Inferieur
Pommier	Arbre 01	Haut				
		Milieu				
		Bas				
	Arbre 02	Haut				
		Milieu				
		Bas				
	Arbre 03	Haut				
		Milieu				
		Bas				

		Milieu				
		Bas				

Le tableau 38, qui analyse les buses sur les cultures de blé, montre que les performances varient considérablement d'un type de buse à l'autre

Tableau 38. Analyse quantitative des résultats des papiers hydrosensibles sur la culture de Blé

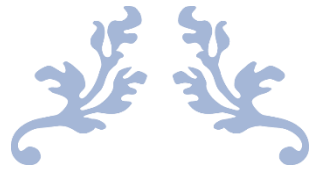
Culture	Echantillon	Répétition	Densité (Impact/cm ²)	Tailles moyennes des gouttes (µm)
Blé	Buse à turbulence	R1		
		R2		
		R3		
	Buse à fente	R1		
		R2		
		R3		
	Buse à fente antidérive	R1		
		R2		

		R3		

Conclusion

L'objectif du présent chapitre est d'évaluer l'efficacité des pratiques de pulvérisation des cultures dans la région de Yabous, en tenant particulièrement compte des contraintes locales spécifiques, notamment les conditions climatiques et le type de culture. L'utilisation de divers types de buses et de configurations de pulvérisation dans les expériences sur le terrain a donné lieu à des différences notables dans la distribution des gouttelettes, la couverture des plantes et la dérive des produits phytosanitaires.

Les résultats confirment l'affirmation selon laquelle la mise en œuvre de buses à fente antidérive, associée à un contrôle optimal des variables techniques telles que la pression, la vitesse d'avancement et la hauteur de la rampe, atténue la probabilité de dérive tout en garantissant une couverture uniforme. Ces observations certifient les recommandations d'études antérieures et soulignent la nécessité d'adapter les pratiques aux conditions locales afin d'améliorer l'efficacité des traitements tout en minimisant l'impact sur l'environnement.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion générale

Le diagnostic des pratiques phytosanitaires dans l'arboriculture et la céréaliculture, ainsi que l'évaluation du risque d'exposition aux pesticides dans la région de Khenchela, ont révélé un manque d'encadrement des pratiques culturales. Ce déficit se traduit par une mauvaise utilisation des produits phytosanitaires, notamment par des agriculteurs ayant un niveau d'éducation limité ou n'ayant pas reçu de formation spécifique. Cette situation engendre des risques significatifs pour la santé humaine, animale et environnementale, tout en compromettant la durabilité des systèmes agricoles.

L'analyse des pratiques phytosanitaires montre que, bien que certains agriculteurs adoptent des mesures de protection, celles-ci restent souvent partielles et inadaptées. Si le port du masque et des bottes est relativement fréquent (23 %), le port de vêtements de protection complets demeure rare. Les agriculteurs utilisent principalement des gants et des combinaisons pendant les phases de traitement, mais l'absence de protocoles rigoureux augmente les risques d'exposition aux substances toxiques. L'évaluation de l'exposition des opérateurs a révélé des niveaux préoccupants d'absorption des pesticides, en raison du non-respect des équipements de protection individuelle et de gestes techniques inadaptés lors des phases de préparation et d'application des bouillies phytosanitaires. Cette exposition, associée à une gestion insuffisante des résidus et des emballages, constitue un enjeu majeur pour la santé des agriculteurs et des populations environnantes.

Notre recherche a permis d'identifier 29 matières actives fréquemment utilisées dans la région, parmi lesquelles le Chlorantraniliprole, le Thiamethoxam et le Triadimenol, ainsi que des mélanges tels qu'Azoxystrobine + Cyproconazole et Difenoconazole. Selon la classification CLP (règlement CE n° 1272/2008), ces substances présentent une toxicité avérée pour l'homme et l'environnement. L'analyse des pratiques montre une hiérarchisation des traitements, avec une application majoritaire d'insecticides, suivie d'herbicides, de fongicides et, plus rarement, de régulateurs de croissance. L'évaluation des pratiques phytosanitaires via des Indicateurs de Fréquence de Traitement (IFT) et des Indicateurs de Pression Phytosanitaire (IPP) a permis de mesurer l'intensité de l'usage des pesticides dans la région. Un IFT élevé sur certaines parcelles témoigne d'une forte dépendance aux traitements chimiques, tandis que l'IPP met en évidence les risques cumulés liés à ces applications répétées. Ces résultats soulignent l'urgence de promouvoir des alternatives plus durables et de renforcer l'accompagnement des agriculteurs vers une gestion plus raisonnée des intrants chimiques.

L'optimisation des techniques de pulvérisation apparaît comme un levier essentiel pour réduire la dérive des produits phytosanitaires et améliorer leur efficacité. L'utilisation de buses à fente anti-dérive, combinée à une gestion rigoureuse des paramètres techniques (pression d'application, vitesse d'avancement et hauteur de pulvérisation), constitue une solution prometteuse. Nos essais expérimentaux ont démontré que ces ajustements permettent non seulement d'assurer une meilleure couverture des cultures, mais aussi de réduire significativement l'impact environnemental en limitant les pertes par dérive et ruissellement. Cette approche méthodologique s'inscrit dans une logique d'agriculture de précision, où chaque paramètre est optimisé pour améliorer les performances agronomiques tout en minimisant les effets négatifs sur l'environnement.

Enfin, cette recherche met en évidence la nécessité d'une transition vers une gestion intégrée des cultures, combinant l'innovation technologique, le suivi des pratiques phytosanitaires et une réglementation plus stricte. L'efficacité des traitements phytosanitaires ne peut être évaluée de manière uniforme, mais doit être adaptée aux conditions agroécologiques spécifiques de chaque région. L'adoption de solutions techniques avancées, associée à des programmes de formation et de sensibilisation, constitue une voie incontournable pour garantir une agriculture plus durable et respectueuse de la santé humaine et environnementale. Nos résultats confirment ainsi l'intérêt d'une approche systémique et dynamique, où la modernisation des pratiques phytosanitaires joue un rôle clé dans l'amélioration des performances agricoles et la préservation des écosystèmes locaux.

Perspectives d'avenir et suggestions

L'avenir de cette recherche repose sur l'amélioration continue des stratégies de gestion des produits phytopharmaceutiques adaptées aux réalités des pratiques agricoles locales. Il est essentiel de mettre en place un système de suivi rigoureux et structuré des pratiques phytosanitaires, en intégrant des outils d'évaluation permettant d'identifier les failles et d'optimiser l'usage des intrants chimiques.

Une priorité majeure est le renforcement des programmes de formation continue destinés aux agriculteurs. Ceux-ci doivent inclure des modules à la fois théoriques et pratiques, axés sur les avancées scientifiques et techniques en matière de gestion raisonnée des produits phytopharmaceutiques. L'objectif est d'améliorer leurs connaissances et de promouvoir des pratiques plus sûres et plus durables.

Par ailleurs, des études approfondies sur l'exposition professionnelle aux pesticides sont nécessaires pour mieux cerner les risques encourus. Ces recherches permettront de documenter les niveaux d'exposition, d'identifier les comportements à risque et de proposer des stratégies de prévention adaptées aux réalités du terrain.

L'adaptation technologique constitue un levier majeur pour l'optimisation des pratiques phytosanitaires. L'intégration de buses antidérive adaptées aux conditions semi-arides s'avère une solution prometteuse pour limiter les pertes de produits et réduire leur impact environnemental tout en assurant une efficacité optimale des traitements.

Enfin, le développement de campagnes de sensibilisation à grande échelle est recommandé afin de vulgariser les connaissances scientifiques auprès des agriculteurs. Ces initiatives doivent s'appuyer sur des approches éducatives interactives et adaptées au contexte local pour favoriser l'adoption de pratiques de manipulation, d'application et de gestion des produits phytopharmaceutiques plus responsables.

À terme, ces actions visent à accompagner la transition vers une agriculture plus durable, respectueuse de la santé humaine et de l'environnement, tout en assurant une production agricole efficiente et compétitive.



***LISTE DE
PRODUCTIONS
SCIENTIFIQUES***



Liste de productions scientifique

Articles

1. Boudraa Loubna, Boulhalfa Hassina Hafida & Habbas Mahjouba (2024). Assessment of Phytosanitary Practices and Associated Risks Among farmers in Khenchela, Northeastren Algeria, African Jornal of Biological Science, Vol 6, Issue 5, DOI: 10.33472/AFJBS.6.5.2024.1746-1766.
2. Boudraa, L., **Boukhalfa, H. H.**, (2023). Risks related to phytosanitary practices of apple growers in the Khenchela region -Algeria. Proceedings of V. International Agricultural, Biological & Life Science Conference, Edirne, Turkey, 18-20 September 2023 “AG-BIOL2023”, 692-697.
3. Boudraa, L., **Boukhalfa, H. H.**, (2023). Phytosanitary practices and operator exposure levels. Proceedings of V. International Agricultural, Biological & Life Science Conference, Edirne, Turkey, 18-20 September 2023 “AGBIOL2023”, 106-112.

Communications internationales

Auteur	Intitulé	Lieu
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Communication oral « Risk assessment of exposure to pesticides of farmers in an arid region of Algeria » V. Balkan Agricultural congress, 20-23 September 2023 , Edrine, Turkey	Univ. Edrine, Turque.
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Communication oral « Phytosanitary practices and operator Exposure Levels » V. International Agricultural, Biological & Life Science conference, 17-20 September 2023 , Edrine, Turkey.	Univ. Edrine, Turque
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Communication affichée « Impact des mauvaises pratiques phytosanitaires sur les agriculteurs de la région de Khenchela (cas de commune de Remila) » the 1st international seminar on Valorization of Bioresources in Environment & Health (VBEH23), 10 – 11 May 2023 , Oued Souf, Algérie	Univ. El Oued
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Séminaire international, communication sous forme de Poster, ICCABES, Chemical, Agricultural, Biological and environmental Science, 20 – 21 Décembre 2019	Istanbul
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Colloque international, communication sous forme de Poster, Inventaire et caractéristiques biométriques des rongeurs dans la région de Khenchela cas des communes de « Yabous et Taouzient », Agrosem II, La connaissance, la valorisation et la gestion durable des ressources naturelles, 09 – 10 Décembre 2018	Univ. Biskra

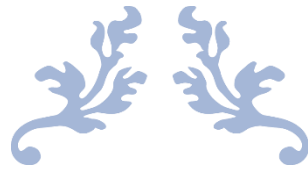
Communications nationales

La date	Intitulé	Lieu
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Communication oral « Risques d'utilisation de produits phytosanitaires sur les agriculteurs de la région de Remila à Khenchela ». Séminaire national RIASASHB, Laboratoire PIARA, 13 Novembre 2024	Univ. Biskra
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Séminaire National, communication orale en ligne, Les Pesticides : Législation, Environnement et Santé (SNP), Evaluation de l'exposition aux pesticides des céréaliculteurs de la région de Khenchela. 24 -25 Novembre 2021	Univ. Boumerdes
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Séminaire national, communication orale en ligne, Production et Protection des végétaux, Perception de risques liés aux pratiques phytosanitaires des agriculteurs de la région de Khenchela – Algérie. 19 Juin 2021	Univ. Laghouat
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Séminaire national, communication sous forme de Poster, L'apport des biotechnologies sur la protection de l'environnement, Etude de la reconnaissance des produits phytosanitaires par les agriculteurs de la région de Khenchela. 15 - 16 Décembre 2019	Univ. M'sila
BOUDRAA Loubna & BOUKHALFA Hassina Hafida	Symposium national, communication sous forme de Poster, Protection des végétaux en zones arides, Diagnostic des produits phytosanitaires dans la région de Khenchela, 12 novembre 2019	Univ. Biskra

Projets de recherche

- Projet PRFU

Code	Période	Intitule
D04N01UN070120220007	Projet reconduit pour les années 2024 et 2025	Adaptation des techniques et équipement agricoles aux conditions locales en région arides



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES



Références bibliographiques

A -----

1. ACTA- Association de Coordination Technique Agricole (2019). Guide des Bonnes Pratiques Phytosanitaires. Association de Coordination Technique Agricole.
2. ACTA- Association de Coordination Technique Agricole (2021). Guide pratique – utilisation des papiers hydrosensibles pour l’optimisation des pulvérisations. Paris, France.
3. Adechian, S. A., Baco, M. N., Akponikpe, I., Toko, I. I., Egah, J., & Affoukou, K. (2015). Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 15(2).
4. Agence Européenne de l'Environnement (2022). "Rapport annuel sur les pratiques agricoles durables et la réduction des intrants chimiques." Luxembourg: Publications Office of the European Union.
5. Agreste, 2008, Traitements phytosanitaires sur céréales et colza en 2006 : la Bourgogne dans la moyenne haute, (Bourgogne, France: Agreste).
6. Ahouangninou C, Fayomi BE, Martin T. 2011. Évaluation des risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires des producteurs maraîchers dans la commune rurale de Tori-Bossito (Sud-Bénin). *Cahiers Agricultures* 20 (3): 216–222. DOI:[10.1684/agr.2011.0485](https://doi.org/10.1684/agr.2011.0485).
7. Aïna, M. P., Agbohessi, P., Toko, I. I., & Scippo, M. L. (2015). Effets toxicologiques et méthodes d’analyse de la lambda-cyhalothrine et de l’acétamipride utilisés dans la protection phytosanitaire du cotonnier au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(4), 2184-2199.
8. Allagui A. (2019). Caractérisation de l’efficacité agroenvironnementale des traitements phytosanitaires de l’artichaut pour une gestion respectueuse de l’environnement en Tunisie. (thèse doctorat).
9. ANDI, (2013) : Agence Nationale de Développement de l’Investissement 2013 Pages 06, 10
10. ANDI., (2015) : La wilaya de Khenchela, Agence Nationale de Développement de l’Investissement, Khenchela, P 20.
11. Aniref, (2021) : Agence Nationale d’Intermédiation et de Régulation Foncière. Monographie de la wilaya de KHENCHELA, Pp25.
12. Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, G., Lucas, P., ... & Savani, I. (2005). Pesticides, agriculture et environnement–Réduire l’utilisation des

pesticides et en limiter les impacts environnementaux–Synthèse du rapport d’expertise–
Expertise scientifique collective INRA–CEMAGREF. *INRA et Cemagref (France)*.

B-----

13. Bahrouni, H., Ben Abdallah, M.A., Khedri, R., 2013. Une approche globale pour l'étude du devenir des pesticides en Tunisie : la soufflerie aérodynamique de l'INRGREF. *Revue de l'INAT*, 28 (2).
14. Beghami Y., (2013) : Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès : analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnarde, Doc, Univ. Med Kheider, Biskra, P 288.
15. Belhadi A, Mehenni M, Reguieg L, Yakhlef H. 2016. Pratiques phytosanitaires des serristes maraîchers de trois localités de l'est des Ziban et leur impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement. *Revue Agriculture* 1(numéro spécial): 9–16.
16. Belhamra Y. I., (2019). Evaluation du risque d'exposition de l'applicateur de traitements phytosanitaires sous serres. Thèse Master, Uni. Biskra. Algérie.
17. Bettiche, F. (2017). *Usages des produits phytosanitaires dans les cultures sous serres des Ziban (Algérie) et évaluation des conséquences environnementales possibles* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Kheider-Biskra).
18. Bostrom, A., et al. (2018). "Pesticide Reduction Strategies and Environmental Impact Assessment." *Environmental Science & Technology*, 52(14), 7793-7805.
19. Bourguet, D., & Guillemaud, T. (2016). The hidden and external costs of pesticide use. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 19*, 35-120.
20. Bouziani, M. (2007). L'usage immodéré des pesticides. De graves conséquences sanitaires. *Le Guide de la Médecine et de la Santé*.
21. Bretagnolle, V., Gaba, S., & Roncoroni, M. (2016). "Ecological Intensification: Synergies and Trade-offs for Agricultural Sustainability". *Frontiers in Ecology and Environment*, 14(5), 266-274.
22. Briand, O., Seux, R., Millet, M., & Clément, M. (2002). Influence de la pluviométrie sur la contamination de l'atmosphère et des eaux de pluie par les pesticides. *Revue des sciences de l'eau*, 15(4), 767-787.

C-----

23. Chambre d'agriculture (2017). Optimiser la pulvérisation. Guide phytosanitaire. ECOPHYTO. Fiche n°2.

24. Chen, L., & Liu, H. (2020). "Droplet Size Optimization and Environmental Interactions in Pesticide Application". **Environmental Science & Technology**, 54(17), 10642-10654. DOI: 10.1021/acs.est.0c0345
25. Cissé I, Fall ST, Badiane M, Diop Y, Diouf A. 2006. Horticulture et usage des pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. Document de travail Écocité no 8. ISRA/LNERV, EISMV, LACT/Faculté de médecine pharmacie/UCAD. Disponible sur www.ecocite.org, 14 p.
26. Cordeau, S., Touzeau, C., Guichard, H., & Falret, A. (2017). "Integrated Pest Management Strategies in Orchard Ecosystems: A Review". *Crop Protection*, 101, 15-26.
27. Cordeau, S., Touzeau, C., Guichard, H., & Falret, A. (2018). "Ecological Dynamics in Agricultural Systems: Integrated Approaches to Pest Management". *Agricultural Systems*, 163, 110-122.

D-----

28. D.S.A. (2020). Direction des Services Agricoles, wilaya de Khenchela : Algérie.
29. Damalas C.A. and Eleftherohorinos I.G. (2011). Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5):1402-1419.
30. Damalas, C. A., Georgiou, E. B., & Theodorou, M. G. (2006). Pesticide use and safety practices among Greek tobacco farmers: a survey. *International journal of environmental health research*, 16(5), 339-348.
31. Daniel C., (2005). Protection des plantes pour la production de fruits à pépins bio, fiche technique BIO, Vulgarisation Agricole, Suisse.
32. Dauzals J. P., Martin P., Piron E., & Kresz Z. (2020). Evolution des techniques de pulvérisation agricole : vers une agriculture de précision. *Revue du Machinisme Agricole*, Vol. 45, Issue 2, pp. 78-92, ISSN 0035-2810.
33. Déla, M. A., Koffivi, K. G., Komina, A., Arnaud, A., Philippe, G., & Adolé, G. I. (2014). Evaluation of neem leaves-based preparations as insecticidal agents against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sternorrhyncha: Aphididae). *African Journal of Agricultural Research*, 9, 1344-1352.

34. Deveau J. (2010). Les six clés de l'efficacité des pulvérisations dans les vergers et vignobles. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales (MAAARO) de l'Ontario.
35. Deveau J., & Zhang X. (2020). Best practices for analyzing water-sensitive paper in agricultural spraying applications. *Crop Protection*, 89, 62-71.
36. Diop, A. (2013, December). Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal). Littoral.
37. Doruchowski, G., Świechowski, K., Gontarz, R., & Hewitt, A. J. (2020). "Droplet Size and Distribution Characteristics of Agricultural Spray Nozzles in Drift Reduction Strategies". *Crop Protection*, 137, 105287. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105287
38. Doumbia M et Kwadjo K.E , 2009 : Pratiques d'utilisation et de gestion des pesticides par les maraîchers en Côte d'Ivoire : Cas de la ville d'Abidjan et deux de ses banlieues (Dabou et Anyama). *Journal of Applied Biosciences* 18 : 992 – 1002.
39. DPVCT 2015, Index des produits phytosanitaires à usage agricole, In Ministère de l'agriculture et du développement rural, Direction de la Protection des Végétaux et Contrôles Techniques (Ed) (Alger)
40. DPVCT 2017, Index des produits phytosanitaires à usage agricole, In Ministère de l'agriculture et du développement rural, Direction de la Protection des Végétaux et Contrôles Techniques (Ed) (Alger)
41. Dümmler, C. (1993). Pesticides et agriculture tropicale. Danger alternatives. Verlag Josef Margraf.

E-----

43. El Aissaoui A., (2015). Les bases de l'application rationnelle des produits phytosanitaire, guide pratique pour les opérateurs agricoles, Laboratoire de Machinisme Agricole, INRA, BP 589, Settat, Maroc.

F-----

44. FAO, (2002). Directives sur la bonne pratique de l'application terrestre de pesticides. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome, 2002. ISBN 92-5-204718-2.
45. FAO. (2003). *Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides (Version révisée)*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et

l'agriculture, Rome. Adopté par la cent vingt-troisième session du Conseil de la FAO, novembre 2002.

46. Fox, R.D., Derksen, R. C., Cooper, J. A. & Krause C. R. (2023). Water-sensitive papers for spray analyses: tools and techniques for evaluating spray deposition. *Journal of Plant Protection Research*, 15 (2), 125-138.
47. Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., Martin, D. E., & Slaughter, D. C. (2021). "Drift Reduction Technologies and Application Strategies for Agricultural Pesticide Spraying". **Journal of Agricultural and Environmental Science**, 42(3), 215-229. DOI: 10.1007/s13593-021-00678-w

G-----

48. GIEC (2022). "Rapport spécial sur le changement climatique et l'agriculture."
49. Gouda, A. I., Toko, I. I., Salami, S. D., Richert, M., Scippo, M. L., Kestemont, P., & Schiffers, B. (2018). Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 27(6), 65002.
50. Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). "Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers". *Science*, 347(6229), 1255957.
51. Gourdon, E., Martin-Laurent, F., Bérard, A., & Chevreuil, M. (2022). "Meta-Analysis of Pesticide Formulation Interactions and Environmental Impacts in Agricultural Treatment Strategies". **Environmental Science & Pollution Research**, 29(15), 22541-22558. DOI: 10.1007/s11356-022-19456-z
52. Guehiliz, N. (2023). Pratiques phytosanitaires et évaluation du risque d'exposition aux pesticides des ruminants nourris à base de céréales et sous-produits traités dans la région de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
53. Guehiliz, N., Boukhalfa, H. H., & Deghnouche, K. (2023). Pratiques phytosanitaires des céréaliculteurs en région aride: cas de Biskra, sud-est de l'Algérie. *International Journal of Environmental Studies*, 80(3), 649-663.
54. Guehiliz, N., Boukhalfa, H. H., & Deghnouche, K. (2023). Survey of Some Agronomic Practices of Cereal Production in Arid Region (Biskra-Algeria). *Egyptian Journal of Agronomy*.

55. Guettala, F. N. (2009). Entomofaune, Impact Economique et Bio-Ecologie des principaux Ravageurs du Pommier dans la région des Aurès (Doctoral dissertation, UB1).
56. Guissou, I. P., Toé, M. A., Domo, Y., & Hema, O. S. (1996). Contribution à la toxicologie agro-alimentaire au Burkina Faso: épidémiologie des intoxications aux pesticides et activités cholinestérasiques sériques chez les producteurs de la zone cotonnière de la boucle du Mouhoun. *Études et recherches*, 4-5.
57. Guyot, J., Bretagnolle, V., & Bioteau, T. (2019). "Alternative Weed Management in Orchards: Reducing Herbicide Use Through Mechanical and Ecological Approaches". *Agricultural Systems*, 172, 44-54.
58. Guyot, J., Bretagnolle, V., & Bioteau, T. (2019). "Alternative Weed Management Strategies in Perennial Crops: Reducing Chemical Interventions". *Journal of Agricultural Ecology*, 56(4), 672-685.

H-----

59. Hattab, M. and Gaouar, A., 2016, Évaluation des moyens de production céréalière dans la région d'El Gor – wilaya de Tlemcen. *Revue Agriculture* 11, 37– 43.
60. Houmy K. Matériel de protection phytosanitaire des céréales, choix, utilisation et sécurité. Transfert de technologie en agriculture. N 78, Mars 2001.

I-----

61. INRAE (2020). "Rapport sur les stratégies de réduction des intrants phytosanitaires en agriculture."
62. ISO (2015). ISO 16122-1:2015 - Agricultural and forestry machinery -- Inspection of sprayers in use -- Part 1: General. International Organization for Standardization.

J-----

63. Jallow, M. F., Awadh, D. G., Albaho, M. S., Devi, V. Y., & Thomas, B. M. (2017). Pesticide knowledge and safety practices among farm workers in Kuwait: Results of a survey. *International journal of environmental research and public health*, 14(4), 340.
64. Jayashree, R., Vasudevan, N., & Chandrasekaran, S. (2006). Surfactants enhanced recovery of endosulfan from contaminated soils. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 3, 251-259.

K-----

65. Kanda M, Djaneye-Boundjou G, Wala K, Gnandi K, Batawila K, Sanni A, et al. 2013. Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. VertigO_la revue électronique en sciences de l'environnement 13 (1): 1–17.
66. Khabthane H. (2010) : Contribution à l'étude du comportement écophysologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela. Mémoire Magister. Université de Constantine. 152 p.
67. Khaldoun., L. (2014). Recherches phréatobiologiques dans la région de Khenchela (Sud Est Algérien) : Qualité de l'eau des puits, Biodiversité, Écologie et Biogéographie des espèces stygobies. Thèse Doctorat .Univ .Oum El Bouaghi p120.

L-----

68. L'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H)
69. Lechenet, M., Bretagnolle, V., Bockstaller, C., Boissinot, F., & Munier-Jolain, N. (2017). "Reconciling Pesticide Reduction with Economic and Environmental Sustainability in Arable Farming". *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(7), 363-372.
70. Louchahi m, (2015). Enquete sur les conditions d'utilisation des pesticides en agriculture dans la region centre de l'Algerois et la perception des agriculteurs des risques associes a leur 2014-2015 pp8-9

M-----

71. MAA., 2018, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Indicateur de Fréquence de Traitements Phytopharmaceutiques (IFT), Guide méthodologique, Version 3, Avril 2018, 61 p
72. Marir I., et Oulem M., (2012) : Comportement du carpocapse (*Cydia pomonella*) vis-à-vis trois variétés du pommier dans la région de Chélia W. Khenchela, Ing., Univ. Mohamed Kheider, Biskra, P 3-30.
73. Matthews, G. A. (2008). Pesticide Application Methods. John Wiley & Sons.
74. Meemken, E. M., & Qa'ed-Charaf, H. (2020). "Agroecological Approaches to Crop Protection: A Global Perspective." *Nature Sustainability*, 3(12), 1011-1020.
75. Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2017). "Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives". *Toxicology and Applied Pharmacology*, 268(2), 157-177.

76. Müller, T., & Schmidt, K. (2021). "Drift Reduction Technologies in European Agricultural Spraying". *European Journal of Agronomy*, 89(2), 143-156. DOI: 10.1016/j.eja.2021.03.005

N-----

77. Naré RWA, Savadogo PW, Gnankambary Z, Nacro HB, Sedogo MP. 2015. Analyzing risks related to the use of pesticides in vegetable gardens in Burkina Faso. *Agriculture, Forestry and Fisheries* 4(4): 165–172. DOI:[10.11648/j.aff.20150404.13](https://doi.org/10.11648/j.aff.20150404.13).
78. Ndao, T. (2008). Etude des principaux paramètres permettant une évaluation et une réduction des risques d'exposition des opérateurs lors de l'application de traitements phytosanitaires en cultures maraîchère et cotonnière au Sénégal.
79. Network, P. A., America, N., & Fund, F. J. (2005). Re: EPA 40 CFR Parts 152 and 158 pesticides; Data requirement for Conventional Chemicals; Proposed Rule Docket ID No. OPP-2004-0387.
80. Nouadi K., Merrouche R., (2013). Diagnostique et réhabilitation de la station de traisees de ville de Khenchela. Mémoire de fin d'étude Mastère. Université Larbi Ben M'hidi, Oum El bouaghi. (p.18).

O-----

81. Ouaer, R., & Hamdi, N. (2018). *Évolution de l'utilisation des pesticides en Algérie : analyse des tendances et impacts environnementaux (2005-2015)*. Revue d'Agriculture et d'Environnement en Algérie.
82. O.N.M., 2023 : Relevés météorologiques de la période de (2013-2023), Duc Excel Office National de Météorologie, Khenchela (El-Hamma).
83. Ouedraogo, R., Toé, A. M., Ilboudo, S., & Guissou, P. I. (2014). Risk of workers exposure to pesticides during mixing/loading and supervision of the application in sugarcane cultivation in Burkina Faso. *Int. J. Environ. Sci. Toxicol. Res*, 2, 143-151.

P-----

84. Panneton, B. (2018). "Drift Reduction Technologies in Pesticide Spray Application: Performance and Mechanisms of Low-Drift Nozzles". *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257, 344-353. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.03.012

85. Pingali, P. L. (2012). Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(31), 12302-12308.
86. PAN. (2005). *Document de position du Pesticide Action Network (PAN) International sur : L'utilisation des pesticides dans les pays en développement*. Pesticide Action Network International.
87. Pretty, J., & Benton, T. G. (2021). "Sustainable Intensification in Agricultural Systems." *Agricultural Systems*, 189, 103058.
88. PROTECT'eau (2021). Bonnes conditions de pulvérisation. Société publique de Gestion de l'Eau.

R-----

89. Ramade, F. (2011). Introduction à l'écochimie : Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme (Paris : TEC & DOC), p. 269–382.
90. Rodriguez-Garcia, M., Lopez-Fernandez, J., & Martinez-Santos, P. (2022). "Droplet Distribution and Environmental Impact in Crop Protection Techniques". **Journal of Crop Protection**, 41(3), 215-229. DOI: 10.1007/s10658-022-02567-x

S-----

91. Sa'ed, H.Z., Sawalha, A.F., Sweileh, W.M., Awang, R., Al-Khalil, S.I., Al-Jabi, S.W., and Bsharat, N.M., 2010, Knowledge and practices of pesticide use among farm workers in the West Bank, Palestine: Safety implications, *Environmental Health and Preventive Medicine* 15 (4): 252–261. DOI: 10.1007/s12199-010-0136-3
92. Sauphanor, B., Benoît, P., & Génissel, A. (2016). "Integrated Pest Management in Apple Orchards: Challenges and Innovations". *Crop Protection*, 89, 80-90.
93. Schiffers B., Mar A , 2011 : Sécurité des opérateurs et bonnes pratiques phytosanitaires. Manuel 4. Pip c/o Coleacp. Bruxelles, Belgique, mars.
94. Son D., Somda I., Legreve A. Schiffers B., 2017. Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risque pour la santé et l'environnement. *Cah. Agric.* 26 : 25005.
95. Son, D., Somda, I., Legreve, A., & Schiffers, B. (2017). Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cahiers Agricultures*, 26(2).

96. Soudani, N. (2022). Etude de l'impact des produits phytosanitaires sur l'environnement par l'utilisation de modèles d'évaluation de risques dans la région de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider de Biskra).
97. Steven, K. Th. (2012). *Simpling*, Third edition, Canada, Simon Fraser University, pp. 59-60.
98. Storck, V., Bretaud, J., Mignolet, C., Schott, C., & Deytieux, V. (2019). Herbicide reduction strategies and their implications for environmental sustainability. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(4), 567-582.
99. Storkey, J., Meyer, S., & Bazzaz, F. A. (2018). "Exploring the Optimal Pesticide Frequency Threshold in Cereal Crop Production". *Journal of Applied Ecology*, 55(4), 1604-1615.
100. Storkey, J., Meyer, S., & Bazzaz, F. A. (2020). "Pesticide Pressure and Ecological Indicators in Agricultural Landscapes". *Ecological Indicators*, 112, 106-118.
101. Sudhakar, Y., & Dikshit, A. K. (2001). Methodology for management of endosulfan contaminated eluent. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 36(3), 355-364.
102. Syngenta Crop Protection (2022). Water-sensitive paper technical specifications and usage guidelines. Technical Bulletin, 25-31.

T-----

103. Tanor, N. (2008). Etude des principaux paramètres permettant Une évaluation et une réduction des risques d'exposition des opérateurs lors de l'application de traitements phytosanitaires. Thèse doctorat. Universitaire des Sciences Agronomiques. Gembloux.
104. Toe, A. M., Ouedraogo, M., Ouedraogo, R., Ilboudo, S., & Guissou, P. I. (2013). Pilot study on agricultural pesticide poisoning in Burkina Faso. *Interdisciplinary toxicology*, 6(4), 185-191.
105. Tyagi H, Gautam T, Prashar P. 2015. Survey of pesticide use patterns and farmers' perceptions: a case study from cauliflower and tomato cultivating areas of district Faridabad, Haryana, India. *International Journal of MediPharm Research* 01 (03): 139–146.

U-----

104. UIPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), 2020. Disponibl sur:
[http:// sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/search.htm](http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/search.htm) (accessed 10 June 2018

W-----

- 105.Wang, Y., Smith, D., Guo, L., & Zhang, H. (2019). "Droplet Size Optimization and Spray Deposition Characteristics in Agricultural Pesticide Applications". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(22), 6245-6253. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b02367
- 106.Wenneker, M., van de Zande, J.C., 2008. Drift Reduction in Orchard Spraying Using a Cross Flow Sprayer Equipped with Reflection Shields (Wanner) and Air Injection Nozzles. *Agricultural Engineering International: the CIGRE Journal*, 10.
- 107.WHO (World Health Organization), 2019. The recommended classification of pesticides by hazard and guideline to classification.
- 108.Wognin AS, Ouffoue SK, Assemmand EF, Tano K, Koffi-Nevry R. 2013. Perception des risques sanitaires dans le maraîchage à Abidjan, Côte d’Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7(5): 1829–1827. DOI: [10.4314/ijbcs.v7i5.4](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.4).
- 109.Wognin, A. S., Ouffoue, S. K., Assemmand, E. F., Tano, K., & Koffi-Nevry, R. (2013). Perception des risques sanitaires dans le maraîchage à Abidjan, Côte d’Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(5), 1829-1837.

Y-----

- 110.Yakhelf, H., Far, Z., Ghozlane, F., Madani, T. et Marie, M., 2008, Evaluation de la durabilité des systèmes agropastoraux bovins dans le contexte de la zone semiaride de Sétif (Algérie), *New Méditerranéen*, 4 : 36-39

Z-----

- 111.Zande, J.C., 2013. Use of spray drift and drift reduction data in aquatic risk analysis in the Netherlands. Workshop on Modelling Spray Drift from Ground-based Applications 10-11, Cranfield, UK.



ANNEXE



Questionnaire de l'enquête



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE MOHAMED KHIEDER- BISKRA

FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Adaptation des techniques d'application des produits de traitements des cultures aux conditions locales, optimisation de la qualité de pulvérisation et des pertes dans l'environnement

Dans le cadre de l'obtention du diplôme de Doctorat

Doctorante : Mme. BOUDRAA Loubna

Année universitaire : 2020/2021

Questionnaire

Nom :

Prénom :

Niveau d'étude :

Analphabète ☐

Primaire ☐

Moyen ☐

Lycée ☐

Universitaire ☐

1. Caractéristiques sur l'exploitation

Région :

Commune :

Superficie agricole (exploitation) : (ha)

Les cultures :

✓ Arboriculture ☐

✓ Céréaliculture ☐

✓ Maraichères ☐

Qu'elles sont ?

.....
.....

La parcelle

✓ La densité de plantation :

✓ Protégé contre la grêle : Oui ☐ Non ☐

Fiche d'observation de traitement (au niveau de l'exploitation)

1. Capacité de l'opérateur caractérisation du produits phytosanitaires et à la préparation de la bouille

	Oui	Non
Peut caractériser l'emballage de produit à sa position		
Peut interpréter les signalétiques du danger observées sur l'emballage		
Peut comprend les indications sur la formulation du produit		
Peut comprend les indications sur la matière active contenue dans le produit		
Peut interpréter les indicateurs de doses prescrites		
Peut déduire la quantité du produit à mettre dans sa cuve (volume de bouille)		
Dispose d'astuce pratique pour mesurer sans erreur les petits volumes		
Prend soins de revoir l'état et le calibrage de son pulvérisateur		

2. Mesure de protection

Mesure de protection pendant la préparation, traitement et le rinçage du matériels (oui toujours, oui parfois, non)

	Masque	Gants	Lunette de protection	Bottes	Combinaison	Vêtements imperméable
Pendant la préparation						
Pendant traitement						
Pendant rinçage						

3. Cas d'imprudence

	Oui	Non
Il fume pendant l'opération		
Il mange pendant l'opération		
Il boit pendant l'opération		
Il soufre dans la buse en cas de bouchage		
Il touche la bouille à mains nues		
Des personnes circules dans l'exploitation juste après ou pendant le traitement		

4. Attitude après l'application

	Oui	Non
L'opérateur prend soin de vider la cuve du pulvérisateur par un rinçage profond		
L'opérateur prend soin de rincer les emballages vides et de les rendre inutilisables		
L'opérateur prend soin de ne pas porter longtemps les équipements de protection individuelle après le travail		
L'opérateur prend soin de laver les mains et le visage tôt après le travail		
L'opérateur est conscient des soins à faire son équipement de protection individuel après chaque jour de travail		

Questionnaire pour collecte des données sur les pesticides

Information sur les pesticides

- Avez-vous déjà utilisé des produits phytosanitaires pour protéger vos cultures contre les maladies et ravageurs ? Oui ☐ Non ☐

Si oui, sur quelle culture ?

- Quels sont les indicateurs qui vous montrent qu'il est nécessaire de procéder à l'application des pesticides ?

Stade de croissance ☐

Les paramètres climatiques ☐

La sévérité de la maladie ☐

Calendrier de traitements ☐

Avertissements

Autre indicateur

- Où faites-vous la préparation de la bouille et le remplissage de pulvérisateur ?

Dans la salle de stockage des produits phytosanitaires ☐

Hors de la salle de stockages des produits sur une surface connecté à un égout ☐

Hors de la salle de stockages des produits sur une surface non étanche ☐

Hors de la salle de stockages des produits sur une surface aménagé dans le but de récupérer la bouille qui déborderait ☐

Loin des cours d'eau, d'un avaloir ou d'un fossé ☐

- Lisez-vous les instructions sur l'emballage avant l'application des produits ?

Oui ☐ Non ☐

- Vérifiez-vous s'il le produits agréé pour la culture (respect la dose, fréquence, période et les autres conditions liée à son usage prescrite sur l'étiquette) ? Oui ☐ Non ☐

- Peut interpréter toutes les instructions qui sont sur l'emballage pour les appliquer ?

Non, je ne sais interpréter aucune instruction ☐

Oui, je sais interpréter certaines instructions ☐

Oui, je sais interpréter toutes les instructions ☐

- Avez-vous déjà vu ces images (voir s'il sait ça correspond en termes de danger)

		Oui	Non
Produits inflammables		☐	☐
Produits nocifs ou irritants		☐	☐
Produits toxiques et très toxiques		☐	☐

- A la fin de la pulvérisation, lorsqu'il reste une bouillie dans le pulvérisateur, ou quand vous rincez le pulvérisateur, que faites-vous de la bouillie ou de l'eau de rinçage ?

J'ai jeté dans le champ ☐

J'ai gardé dans le pulvérisateur pour l'utiliser plus tard ☐

J'ai déversé dans une rivière plus proche ☐

J'ai déversé dans un endroit réservé au reste des produits non utilisé ☐

-
-

- Avec quelle fréquence vérifiez-vous l'état de votre pulvérisateur ?

Avant chaque application ☐

Lorsque je constate qu'il y a un problème ☐

Je ne vérifie pas ☐

- Où stockez-vous les produits ?

Dans ma maison (sans condition particulières) ☐

Dans ma maison (dans une armoire ventilée fermée à clé) ☐

Dans un local spécifique en dehors de ma maison ☐

- Si la réponse est 3, ce local de stockage des produits (c'est beaucoup plus les observations qui témoigneront de la conformité de ce lieu de stockage)

	Oui	Non
Est-il aéré (ventilé) ?	☐	☐
Présence de substances absorbantes (sable, sciures, ...)	☐	☐
Placement d'un seuil à l'entrée pour éviter les écoulements vers l'extérieur	☐	☐
Est-il signalisé et fermé à clé ?	☐	☐

- Lorsque vous procédez à un traitement, y a-t-il des zones que vous respectez (zone non traitée) ? Oui ☐ Non ☐
- Avez-vous des préférences en termes des conditions climatiques pour appliquer les produits phytosanitaires ? Oui ☐ Non ☐

Si oui, quelles sont ces préférences ?

Un temps est calme (sans vent dominant) ☐

Il ne pleut pas ☐

Il fait très chaud ☐

Autre
.....

- Après l'application des produits phytosanitaires, avez-vous l'habitude de prendre directement une douche ? Oui ☐ Non ☐
- A quel rythme lavez-vous votre équipement de protection individuelle ?
Je le lave directement après chaque application ☐
Je le lave lorsqu'il est seulement sale ☐
- Lorsque vous avez traité la parcelle, y a-t-il un délai que vous respectez avant de vous réintroduire dans le champ ?
Non, Je continue à travailler ☐
Oui, je respecte les délais prescrits sur l'étiquette du produit ☐
- Avez-vous déjà entendu des incidents liés à l'utilisation des pesticides ?
Oui ☐ Non ☐
- Avez-vous un registre où vous notez les pesticides que vous utilisez (noms de produits, les doses appliquées, les dates des traitements, ...) Oui ☐ Non ☐

Information sur l'encadrement en matière d'utilisation des produits phytosanitaires

- Quelle est votre source d'information sur l'utilisation des produits phytosanitaires ?
Des agents de vulgarisation agricole ☐
Des vendeurs des pesticides ☐
A travers les journaux ☐
A partir des associations ☐
Autre
.....
- Quelle fréquence d'obtention de ce genre d'information
Chaque semaine ☐
Chaque saison ☐
Une fois le mois ☐
Une fois l'année ☐
Jamais ☐
- Avez-vous des personnes chez qui vous renseigner si vous avez des problèmes d'utilisation des pesticides ? Oui ☐ Non ☐
Si oui, quelle sont ces personnes ?
.....
Avez-vous au moins reçu une formation ou stage sur usage des pesticides ?
Oui ☐ Non ☐

Fiche d'observation sur l'état de pulvérisateur

- Quel est le type de votre pulvérisateur ?
 Automoteur ☐
 Porté ☐
 Trainé ☐
- Quelle le modèle de votre tracteur ?
- Votre tracteur avec cabinet ? Oui ☐ Non ☐
- Type de votre pulvérisateur ?
 Jet projeté ☐
 Jet porté ☐
- Type de rampes
 Frontale ☐
 Déporté ☐
 Surélevée ☐
- Largeur de rampe (mètre)
- Type des buses
 Buse à fente ☐
 Buse anti dérive ☐
 A turbulence ☐
- Nombre des buses
- Ecartement entre les buses
- Combien remplir votre cuve pour traiter toute a parcelle ?.....
- Longueur de tuyauterie entre le réservoir et le pistolet ?.....

Information sur les traitements et sécurité

1. Préparation de la bouille

Réglage et contrôler du pulvérisateur

- Vérifiez-vous la position des buses (écartement, alignement, ...) Oui ☐ Non ☐
- Contrôlez-vous la pression et le débit des buses ? Oui ☐ Non ☐
- Equilibrez-vous l'alimentation des sections de rampe ? Oui ☐ Non ☐
- Contrôlez-vous la justesse le manomètre ? Oui ☐ Non ☐
- Contrôlez-vous la résistance du réservoir de pression ? Oui ☐ Non ☐

2. Pendant le traitement

Réglage et contrôler le pulvérisateur pour l'adaptation à la culture et à la cible sur le champ

- Contrôlez-vous la position de la rampe en hauteur ? Oui ☐ Non ☐
- Réglez-vous le fonctionnement du dispositif de stabilisation de rampe ?
 Oui ☐ Non ☐
- Etiez-vous choisir les buses pour un bon traitement ? Oui ☐ Non ☐
- Assurez-vous les conditions climatiques ? Oui ☐ Non ☐

3. Après traitement

- Récupérez-vous du fond de cuve ? Oui ☐ Non ☐
- Rincez-vous soigneusement à l'intérieur de la cuve ? Oui ☐ Non ☐
- Nettoyez-vous les circuits et les buses ? Oui ☐ Non ☐
- Nettoyez-vous les filtres ? Oui ☐ Non ☐
- Nettoyez-vous l'extérieur du pulvérisateur et de tracteur, et récupérez-vous les eaux de lavage ? Oui ☐ Non ☐

Résumé

La présente recherche analyse les pratiques phytosanitaires appliquées aux cultures céréalières (blé) et arboricoles (pommier) dans la région de Khenchela, en mettant un l'accent sur l'évaluation des risques d'exposition aux pesticides pour les agriculteurs et leur impact environnemental. L'évaluation inclut également un essai d'évaluation de la dérive en soufflerie réalisé en Tunisie. L'approche méthodologique repose sur une enquête menée auprès de 368 agriculteurs répartis dans les communes de Yabous, Chelia, M'sara, Bouhmama, Taouzient, Kais, Remila et Chechar, durant la campagne agricole 2020/2021. Deux indicateurs de risque, l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) et l'Indice de Pression Phytosanitaire (IPP), ont été appliqués à 27 substances actives couramment utilisées sur les sites étudiés.

Les résultats montrent que la majorité des agriculteurs interrogés possèdent un niveau d'éducation moyen et n'ont pas bénéficié d'une formation spécifique en agriculture. Les traitements insecticides sont les plus couramment appliqués, suivis des herbicides, tandis que les fongicides et les régulateurs de croissance sont utilisés de manière plus limitée. Le calcul des indices de risque indique que l'IFT des cultures de pommier est relativement modéré, tandis que celui du blé est plus élevé, suggérant une pression phytosanitaire plus marquée pour cette culture. Une large gamme de substances actives a été identifiée, les plus répandues étant le 2,4-D-Ester-Butylglycol, le Chlorantraniliprole, le Triadimenol, le Cyproconazole, le Thiamethoxam et l'Azoxystrobine. Douze matières actives ont été classées dans la catégorie II (modérément dangereuses) selon la classification internationale. L'utilisation des pesticides reste insuffisamment contrôlée, soulignant la nécessité de renforcer la formation et la sensibilisation des agriculteurs afin de promouvoir une utilisation plus sûre et rationnelle des produits phytosanitaires et de limiter les risques pour la santé et l'environnement. Les essais expérimentaux ont révélé que les buses à turbulence sont les plus adaptées aux traitements phytosanitaires en arboriculture, tandis que les buses à fente s'avèrent plus efficaces pour les cultures céréalières. L'intégration de buses anti-dérive et la maîtrise des paramètres techniques (pression d'application, vitesse de progression, hauteur de la rampe) permettent de réduire significativement la dérive des produits phytosanitaires. Ces résultats corroborent les conclusions d'études antérieures et confirment la nécessité d'adapter les techniques de pulvérisation aux conditions locales afin d'améliorer l'efficacité des traitements tout en réduisant leur impact environnemental.

Mots clé : Pratiques phytosanitaires, céréaliculture, arboriculture, technique de pulvérisation, exposition des opérateurs, impact environnemental, dérive, optimisation des traitements, adaptation aux conditions locales.

Abstract

This research analyzes phytosanitary practices applied to cereal (wheat) and arboricultural (apple) crops in the Khenchela region, with a particular focus on assessing pesticide exposure risks for farmers and their environmental impact. The evaluation also includes a wind tunnel drift assessment conducted in Tunisia. The methodological approach is based on a survey of 368 farmers across the municipalities of Yabous, Chelia, M'sara, Bouhmama, Taouzient, Kais, Remila, and Chechar during the 2020/2021 agricultural season. Two risk indicators, the Treatment Frequency Index (TFI) and the Phytosanitary Pressure Index (PPI), were applied to 27 active substances commonly used in the studied sites.

The results show that most surveyed farmers have a medium education level and have not received specific training in agriculture. Insecticide treatments are the most frequently applied, followed by herbicides, while fungicides and growth regulators are used to a lesser extent. The risk index calculations indicate that the TFI for apple orchards is relatively moderate, whereas wheat exhibits a higher TFI, suggesting a greater phytosanitary pressure on this crop. A wide range of active substances has been identified, with the most commonly used being **2,4-D-Ester-Butylglycol, Chlorantraniliprole, Triadimenol, Cyproconazole, Thiamethoxam, and Azoxystrobin**. Twelve active substances were classified as **Category II (moderately hazardous)** according to international classification standards. The use of pesticides remains inadequately controlled, highlighting the need to strengthen farmer training and awareness to promote safer and more rational use of phytosanitary products while limiting risks to health and the environment.

Experimental trials revealed that **turbulence nozzles** are the most suitable for phytosanitary treatments in arboriculture, whereas **flat-fan nozzles** are more effective for cereal crops. The integration of **anti-drift nozzles** and the optimization of technical parameters (application pressure, travel speed, and boom height) significantly reduce pesticide drift. These findings corroborate previous studies and confirm the need to adapt spraying techniques to local conditions to enhance treatment effectiveness while minimizing environmental impact.

Keywords: Phytosanitary practices, cereal cultivation, arboriculture, spraying technique, operator exposure, environmental impact, drift, treatment optimization, adaptation to local conditions.

الملخص

تحلل هذه الدراسة الممارسات الصحية النباتية المطبقة على زراعة الحبوب (القمح) والزراعة الشجرية (شجر التفاح) في منطقة خنشلة، مع التركيز على تقييم مخاطر تعرض المزارعين للمبيدات وتأثيرها البيئي. تشمل الدراسة أيضاً تجربة تقييم الانجراف في نفق الرياح أجريت في تونس. تعتمد المنهجية على استبيان شمل 368 مزارعاً موزعين في بلديات يابوس، شليا، مسارة، بوحمامة، تاوزيانت، قايس، الرملة، و ششار، خلال الموسم الزراعي 2021/2020. تم تطبيق مؤشرين ، على 27 مادة فعالة شائعة (IPP) ومؤشر الضغط الصحي النباتي (IFT) لتقييم المخاطر، وهما مؤشر تكرار المعالجة .الاستخدام في المواقع المدروسة

أظهرت النتائج أن غالبية المزارعين المستجوبين لديهم مستوى تعليمي متوسط ولم يتلقوا تدريباً متخصصاً في الزراعة. تعد المبيدات الحشرية الأكثر استخداماً، تليها مبيدات الأعشاب، في حين يتم استخدام المبيدات الفطرية ومنظمات النمو لمحاصيل التفاح معتدل نسبياً، بينما (IFT) بشكل محدود. يشير حساب مؤشرات المخاطر إلى أن مؤشر تكرار المعالجة يكون أعلى لمحاصيل القمح، مما يشير إلى ضغط صحي نباتي أكبر لهذه الزراعة

، 2,4-D-Ester-Butylglycol تم تحديد مجموعة واسعة من المواد الفعالة، وأكثرها شيوعاً هي

كما Chlorantraniliprole ، Triadimenol ، Cyproconazole ، Thiamethoxam و Azoxystrobine .

تم تصنيف اثنتي عشرة مادة فعالة ضمن الفئة الثانية (خطورة معتدلة) وفقاً للتصنيف الدولي. لا تزال عملية استخدام المبيدات غير خاضعة للرقابة بشكل كافٍ، مما يؤكد الحاجة إلى تعزيز تدريب المزارعين وتوعيتهم لضمان استخدام أكثر أماناً وعقلانية للمنتجات الصحية النباتية، والحد من المخاطر على الصحة والبيئة

كشفت التجارب الميدانية أن فوهات التوربيني هي الأكثر ملاءمة لمعالجة المحاصيل الشجرية، بينما تعد فوهات الشق أكثر كفاءة لمعالجة محاصيل الحبوب. يساهم دمج الفوهات المقاومة للانجراف مع التحكم في المتغيرات التقنية (مثل ضغط التطبيق، سرعة الرش، وارتفاع ذراع الرش) في تقليل الانجراف بشكل ملحوظ. تدعم هذه النتائج ما توصلت إليه الدراسات السابقة وتؤكد الحاجة إلى تكييف تقنيات الرش مع الظروف المحلية لتحسين كفاءة المعالجات مع تقليل تأثيرها البيئي.

الكلمات المفتاحية: الممارسات الصحية النباتية، زراعة الحبوب، الزراعة الشجرية، تقنية الرش، تعرض المشغلين، التأثير البيئي، الانجراف، تحسين المعالجات، التكيف مع الظروف المحلية.