

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

جامعة محمد خيضر - بسكرة

Université Mohamed Khider-Biskra

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie
Département des Sciences Agronomiques

N° de l'ordre :

N° de série :

THESE

Présentée par M^{elle} SOUDANI Nafissa

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat

3^{ème} Cycle en Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux en régions arides

**Etude de l'impact des produits phytosanitaires sur
l'environnement par l'utilisation de modèles
d'évaluation de risques dans la région de Biskra**

Soutenue le: 01/06/2022

Devant le jury composé de :

Présidente :	FARHI Kamilia	Pr.	U. Biskra
Examineur :	ACHOURA Ammar	M.C.A	U. Biskra
Examineur :	BENSALAH Mohamed Kamel	M.R.A	CRSTRA Biskra
Rapporteur :	BOUKHALFA Hassina Hafida	Pr.	U. Biskra
Co-Rapporteur :	TOUMI Khaoula	Dr.	U. Jendouba, Elkef – Tunisie

Année Universitaire : 2021 / 2022

Remerciements

Avant tout, je tiens à cœur de dire **El Hamdoui'ALLAH**, le tout-puissant qui m'a accordé la force, le courage, la patience pour surmonter les moments difficiles et accomplir cette thèse.

Tout d'abord, j'adresse mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à mon défunt Ex-directeur de thèse le professeur **Mohammed BELHAMRA**. Malgré les obstacles infinis, il m'a toujours supporté, m'a donné sa confiance et me disait : « Vas-y Nafissa, tu as la carte blanche !! ». Qu'Allah lui accorde sa clémence et le place dans ces paradis parmi ces proches.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Mademoiselle **Hassina Hafida BOUKHALFA** professeure à l'université de Biskra, pour avoir accepté d'être la nouvelle directrice de cette thèse, pour sa gentillesse, son appui, ses conseils et ses orientations et la qualité de son travail que tout le monde connaît. Qu'elle trouve ici ma profonde reconnaissance.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à ma Co-directrice de thèse Madame **Khaoula TOUMI** docteur à l'école supérieure de l'agriculture de Kef, université de Jendouba, Tunisie, pour ses remarquables qualités scientifiques et compétences concernant les produits phytosanitaires et l'analyse du risque, et ses remarques constructives. Qu'elle trouve ici ma profonde reconnaissance.

Je voudrais remercier Mademoiselle **Kamilia FARHI** professeure à l'université de Biskra, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance. Qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.

Mes vifs remerciements vont à Monsieur **Ammar ACHOURA**, Maître de conférences assistant à l'université de Biskra et à Monsieur **Mohamed Kamel BENSALAH**, Maître de recherche assistant au centre de recherche CRSTRA de Biskra, pour avoir accepté d'examiner et d'apporter leurs appréciations sur la qualité de ce travail. Qu'ils trouvent l'expression de ma profonde gratitude.

Ce travail ne serait mené à bien sans l'aide d'un ensemble de cadres professionnel et des personnes que je les considère infiniment et dont je tiens à les remercier pour leurs aides inconditionnels.

Ma gratitude et remerciement s'adressent aux Alessandra CARDINALI, Laura CARRETTA, et Nagashvar PATEL, docteurs à l'université de Padoue, Italie, département

d'agronomie, de l'alimentation, des ressources naturelles, des animaux et de l'environnement (DAFNAE), pour leur assistance et leurs conseils précieux.

À monsieur Hamid ACHOUR, Expert agronome, pour son accompagnement, son assistance constante lors de l'enquête, et ses conseils et ses informations riches sur les cultures maraîchères à Biskra. Qu'il trouve ma profonde gratitude pour le temps et la générosité qu'il m'accordait.

Il est pour moi un devoir d'adresse ma reconnaissance et mes vifs remerciements envers :

Monsieur Fouzi GHAMRI, directeur de la chambre d'agriculture de la wilaya de Biskra, pour ces conseils et aides utiles.

Monsieur Aissa DERBALI, Ex-directeur de l'agriculture de la wilaya de Biskra, pour son encouragement, sa compréhension et la confiance en ma personne en tant que cadre et doctorante.

Monsieur Youcef MISSAOUI, le subdivisionnaire de la daïra de Sidi Okba, les cadres ingénieurs de la subdivision de Sidi Okba : Hamza HARZALLAH, Aicha Baya HACHANI, Khadidja ADAIKA, CHELIHI Farid (de la subdivision de Biskra), et Sahraoui DOUBAKH (de la nouvelle wilaya d'Ouled Djellal), pour leurs aides et patience.

Tous les agriculteurs et vendeurs de produits phytosanitaires au niveau des communes d'Ain Naga et de Doucen qui ont accepté de participer dans ce modeste travail.

Mes Chères ami (e)s et collègues, Hassina SAADI « ma sœur », Abderrahmane SOUDANI « cher cousin », Hadj TOUMI et Abderrahim NECIB « mes frères », pour leurs aides, encouragements et la confiance qu'ils ont apportés.

Ma famille, surtout à mon trésor ma chère mère, pour son amour, sa sacrifice et sa patience constante, ainsi à mon grand frère Toufik et sa femme Imane, mes sœurs mon cœur « Zineb, Soumia et son marie Mostafa, Amina et Nour El Houda » pour leur soutien moral, financier et leurs encouragements continues.

Enfin, je désire aussi remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail. Sans oublier bien sûr les gens qui ont accepté de me soutenir sans hésiter et sans relâche dans les moments difficiles.





Dédicace

*A la mémoire de mes chers
défunts:*

*Mon père Kamel Abdel
Nacer.*

*Mon encadreur Professeur
Mohamed BELHAMRA*

Table des matières

Liste des abréviations et acronymes	I
Liste des tableaux	II
Liste des figures	III
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Introduction générale	1

Première Partie : Etude Bibliographique

Chapitre I. Production agricole et maraîchère

I.1.	Production agricole et maraîchère	8
I.1.1.	En Algérie	8
I.1.2.	Dans la région de Biskra	9
I.2.	Les cultures maraîchères	10
I.2.1.	Intérêt et importance socio-économique	10
I.2.2.	Production maraîchère	11
I.2.2.1.	Dans le monde	11
I.2.2.2.	En Algérie	14
a.	Evolution des superficies et de la production maraîchère	14
b.	Les principales zones de production maraîchère	15
I.2.2.3.	Dans la région de Biskra	15
a.	Evolution des superficies et de la production maraîchère	16
b.	Les principales zones de production maraîchère	16
I.3.	Facteurs favorisant l'utilisation des pesticides	19

Chapitre II : Utilisation des produits phytosanitaires en agriculture

II.1.	Intérêt d'usage des produits phytosanitaires	20
II.2.	Utilisation des produits phytosanitaires	20
II.2.1.	Dans le monde	20
II.2.2.	En Algérie	21
II.2.3.	Dans la région de Biskra	22
II.3.	Circuit d'approvisionnement	24
II.4.	Cadre législatif et réglementaire	24
II.4.1.	Règlementation mondiale	25

II.4.2.	Réglementation algérienne	29
---------	---------------------------	----

Chapitre III. Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires

III.1.	Généralités	32
III.2.	Toxicité des produits phytosanitaires	32
III.2.1.	Ecotoxicité	32
III.2.1.1.	Pollution des sols	33
III.2.1.2.	Pollution des eaux	33
III.2.1.3.	Pollution de l'atmosphère	34
III.2.1.4.	Effets des pesticides sur la biodiversité	34
III.2.2.	Toxicité pour la santé humaine	36
III.2.2.1.	La toxicité aiguë	37
III.2.2.2.	La toxicité chronique	37
III.3.	Exposition aux produits phytosanitaires	38
III.3.1.	Voies d'exposition	38
III.3.2.	Types d'exposition	39
III.4.	Les répercussions sanitaires négatives liées aux produits phytosanitaires suivant l'usage et/ou l'exposition	41
III.5.	Facteurs agissant sur la toxicité et l'efficacité d'un pesticide	43

Chapitre IV. Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement

IV.1.	Généralités	45
IV.2.	Processus responsables de transformation des pesticides	46
IV.2.1.	Dégradation	46
IV.2.2.	Bioaccumulation, bioconcentration et biomagnification	47
IV.3.	Processus naturels responsables du mouvement des pesticides	48
IV.3.1.	Volatilisation	48
IV.3.2.	Dérive	49
IV.3.3.	Adsorption	49
IV.4.	Transfert de pesticides	50
IV.4.1.	Ruissellement	50
IV.4.2.	Lixiviation	50
IV.4.3.	Erosion éolienne	51
IV.4.4.	Absorption par les plantes	51
IV.5.	Facteurs qui influencent le transfert de pesticides dans l'environnement	51

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

V.1.	Notions du danger, du risque et leur relation	53
V.1.1.	Le danger	53
V.1.2.	Le risque	53
V.1.3.	La relation entre le danger et le risque	53

V.2.	Analyse des risques : approche générale	54
V.2.1.	Evaluation des risques	54
V.2.1.1.	Evaluation prospective (a priori)	55
V.2.1.2.	Evaluation rétrospective (a posteriori)	55
V.2.2.	Gestion des risques	56
V.2.3.	Communication sur les risques	56
V.3.	Types d'évaluation des risques liés à l'usage de pesticides	56
V.3.1.	Evaluation des risques pour l'environnement (éco-toxicologiques)	57
V.3.2.	Evaluation des risques pour la santé humaine (toxicité)	60
V.3.3.	Evaluation des risques pour opérateurs (exposition)	62
V.3.3.1.	Modèles de calcul d'exposition	62
V.4.	Méthodes de diagnostic des polluants et des impacts	62
V.4.1.	Evaluation du risque environnemental dans le cadre des AMM	64
V.4.1.1.	Observations - réseaux de surveillance	65
V.4.1.2.	Modélisation des contaminations environnementales et des impacts	65
V.4.1.3.	Indicateurs environnementaux	67
V.4.1.4.	La démarche du CORPEN	73
a.	Le diagnostic	73
b.	Les indicateurs	73

Deuxième Partie : Etude Expérimentale

I. Monographie de la région

I.1.	Présentation de la région d'étude	75
I.1.1.	Situation géographique de région d'étude	75
I.1.2.	Caractérisation du milieu naturel	75
I.1.2.1.	Cadre géologique	75
I.1.2.2.	Cadre morphologique	77
I.1.2.3.	Le réseau hydrographique	77
I.1.2.4.	La pédologie	78
I.2	Les caractéristiques climatiques de la région d'étude	78
I.2.1.	Climat	78
I.2.2.	Synthèse climatique	80
I.2.2.1.	Diagramme Ombrothermique de Gaussen	80
I.2.2.2.	Le climagramme d'EMBERGER	80

II. Matériel et Méthodes

II.1.	Introduction	82
II.2.	Localisation géographique et choix des sites d'enquêtes	82
II.2.1.	Choix des communes d'enquêtes	83
II.2.2.	La communauté d'étude	88
II.3.	Méthodologie de la collecte des données de terrain	89

II.3.1.	Elaboration du questionnaire	89
II.3.2.	Le déroulement de l'enquête	90
II.3.3	Le dépouillement des informations de l'enquête et le traitement des données	90
II.4.	Méthodologie de l'évaluation des performances environnementales du système de culture maraîchère	92
II.4.1.	Présentation de l'indice de fréquence de traitement (IFT)	92
II.4.1.1.	Calcul de l'indice de fréquence du traitement phytosanitaire (IFT)	92
II.4.1.2.	Les données	93
II.4.3.	Modalités de calcul de l'indice de pression phytosanitaire (IPP)	93
II.5.	Méthodologie de l'évaluation des risques environnementaux	94
II.5.1.	Présentation de l'indice de GUS	94
a.	Les données utilisées et l'interprétation	95
II.5.2.	Présentation du modèle Pesticide PERI "Indicateur de risque environnemental des pesticides"	95
II.5.2.1.	Démarche générale du modèle PERI	95
II.5.2.2.	Les données utilisées	96
II.5.2.3.	Collecte et traitement des données	97

III. Résultats et Discussions

III.A.	Cultures maraîchères, et protection phytosanitaire	
III.A.1.	Introduction	98
III.A.2	Résultats	98
III.A.2.1.	Caractéristiques générales des exploitations visitées	98
III.A.2.1.1.	Types d'exploitations	98
III.A.2.1.2.	Taille des exploitations	99
III.A.2.1.3.	Différentes caractéristiques	99
III.A.2.2.	Production agricole et les problèmes phytosanitaires	100
III.A.2.2.1.	Les principales spéculations cultivées	100
III.A.2.2.2.	Les majeurs problèmes phytosanitaires	102
III.A.2.3.	Les pesticides récentes en usage par les maraîchers	109
III.A.2.4.	Evaluation de l'usage de produits phytosanitaires et la grandeur de pression	113
III.A.2.4.1.	L'indice de fréquence de traitement (IFT Traitement)	113
III.A.2.4.1.1.	Nombre de traitements phytosanitaires par saison	114
III.A.2.4.1.2.	Calcul de l'indice de fréquence de traitement IFT	115
a.	Différents types d'IFT traitements réalisés sur cultures, par commune	115
b.	Calcul d'IFT totales moyens réalisés sur cultures, par commune	117
c.	Répartition des différents types d'IFT moyen sur cultures, par localité	118
III.A.2.4.2.	L'indice de pression de traitements phytosanitaires (IPP)	120

a.	Calcul de l'indice d'IPP par type de cultures	120
b.	Calcul de l'indice d'IPP sur sites, par commune	121
III.A.3.	Discussion	123
III.A.4.	Conclusion	130
III.B.	<i>Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque</i>	
III.B.1.	Introduction	131
III.B.2.	Résultats	131
III.B.2.1.	Caractéristiques sociales et démographiques des agriculteurs	131
III.B.2.1.1.	Genre, âge, et niveau d'instruction	131
III.B.2.1.2.	Expérience, et formation	131
III.B.2.2.	Agriculteurs et leurs connaissances	132
III.B.2.2.1.	Reconnaitances des dégâts, et symptômes de maladies sur les cultures	132
III.B.2.2.2.	Connaissance des agriculteurs sur les pesticides leurs risques associées	133
III.B.2.3.	Application des pesticides et comportements des agriculteurs	134
III.B.2.3.1.	Choix, et approvisionnement des pesticides	134
III.B.2.3.2.	Stockage des pesticides	135
III.B.2.3.3.	Les appareils utilisés pour les traitements des cultures	136
III.B.2.3.4.	Le chargé de l'application des pesticides	136
III.B.2.3.5.	Entretien des pulvérisateurs	138
III.B.2.3.6.	Les précautions à prendre lors de l'application des produits phytosanitaires	138
III.B.2.3.7.	Moments et fréquences des traitements	140
III.B.2.3.8.	Lecture des étiquettes, respect des doses d'application, et des délais d'attente avant récolte	140
III.B.2.3.9.	Mixage des produits phytosanitaires	141
III.B.2.3.10.	Hygiène après la pulvérisation des produits phytosanitaires	142
III.B.2.4.	Gestion des pesticides après application	142
III.B.2.4.1.	Gestion des emballages vides des pesticides, et élimination des restes de pulvérisations	142
III.B.2.4.2.	Effets et symptômes d'exposition des agriculteurs dus à l'usage des pesticides	144
III.B.2.4.3.	Produits phytosanitaires cités et incriminées de causer des problèmes sanitaires	145
III.B.2.5.	Vulgarisation, et rôle des autorités institutionnels et techniques	147
III.B.3.	Discussion	149
III.B.4.	Conclusion	158
III.C.	<i>Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement</i>	

III.C.1.	Introduction	159
III.C.2.	Résultats	159
III.C.2.1.	Identification et caractérisation des dangers	159
III.C.2.2.	L'indice de Gustafon (GUS) et caractérisation risque potentiel de contamination des eaux souterraines	162
III.C.2.2.1.	Sites à risque potentiel de contamination des eaux souterraines	163
III.C.2.3.	Caractérisation et calcul des risques environnementaux (ERS)	166
III.C.2.3.1.	L'indicateur final du risque environnemental	167
III.C.3.	Discussion	170
III.C.4.	Conclusion	178
	Conclusion générale	179
	Perspectives et recommandations	185
	Liste de productions scientifiques	187
	Références bibliographiques	189

Liste Des Abréviations et Acronymes

AOEL	Acceptable operator exposure level
CAW	Chambre agricole de la wilaya
CE50	Concentration efficace médiane
CI50	Concentration inhibitrice médiane
CL50	Concentration létale 50%
DAR	délai d'attente avant récolte
DARf	Dose aiguë de référence
DJA	Dose journalière admissible
DL50	Dose létale médiane
DSA	Direction des services agricoles
DT50	la demi-vie
EAC	Exploitations agricoles collectives
EAI	Exploitations agricoles individuels
EAP	Exploitations agricoles privées
EFSA	European Food Safety Authority
EPA	Agence de protection environnementale
EPI	Equipements de protection individuelle
FAO	Organisation de l'Alimentation et l'Agriculture des Nations Unies
GC/MS	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
GUS	Score d'ubiquité des eaux souterraines
HPLC	Chromatographie Liquide à Haute Performance
IFT	Indice de fréquence de traitement
IPP	Indice de pression de traitements phytosanitaires
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
Kd	Coefficient de partage sol-eau
Kh	Constante de la loi de Henry

LC/MS	Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse
LMR	Limite maximale de résidus
LMR	limites maximales de résidus
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
LOEL	Lowest Observed Effect Level
MADR	Ministre de l'agriculture et du développement rural
NAEO	Niveaux acceptables d'exposition de l'opérateur
NOAEL	Dose sans effet toxique observable
NODU	Nombre de Doses Unitaires
NOEC	No Observed Effect Concentration
NOEL	No Observable Effect Level
OIT	Organisation internationale du travail
OMS	Organisation mondiale de la santé
PEC	Predicted Environmental Concentration
PERI	Pesticide Environmental Risk Indicators
PNEC	Predicted No-Effect Concentration
PNUE	Programme international sur la sécurité des substances chimiques
PPDB	Pesticide Properties Database
PPPs	Produits phytopharmaceutiques
S.A.	Substance active

Liste Des Tableaux

Tableau 1	Production agricole dans la région de Biskra au cours de la campagne agricole 2018-2019	10
Tableau 2	Evolution des superficies, de production et des rendements des légumes frais en Algérie	15
Tableau 3	Les cultures de plein champs et la plasticulture pratiqués dans les daïras de Biskra, en superficie et en production pour la campagne agricole 2017/2018	17
Tableau 4	Les principaux produits maraichers (Y compris de primeur et sous serres) dans la wilaya de Biskra et évolution des superficies, de production, des rendements et les taux d'accroissement entre 2010 et 2015	18
Tableau 5	Recueil des cadres juridiques internationaux concernant les produits phytosanitaires	26
Tableau 6	Références aux instruments juridiques existants qui traitent de la gestion des produits chimiques	30
Tableau 7	Classification des différentes formes d'intoxication en fonction de l'exposition (Environmental Protection Agency)	37
Tableau 8	Types de toxicité en fonction du nombre de fois et la durée d'exposition	37
Tableau 9	Synthèse de répercussions négatives possibles sur la santé humaine et issues de l'application des produits phytosanitaires	42
Tableau 10	Evaluation du risque environnemental	59
Tableau 11	Quelques indicateurs de risque liés à l'utilisation de pesticides	71
Tableau 12	Données climatiques de la région de Biskra pour la période de 2007 à 2017 (OMA)	78
Tableau 13	Les potentialités spécifiques pour les communes d'Ain Naga (Ziban Est) et de Doucen (Ziban Ouest)	84
Tableau 14	Communes pôles serristes dans la wilaya de Biskra	84
Tableau 15	Répartition des sites d'enquête par commune	88
Tableau 16	Les superficies totales des cultures maraichères pour les deux communes	93
Tableau 17	Catégories de pression phytosanitaire (IPP)	94

Tableau 18	La taille des exploitations visitées	99
Tableau 19	Les principales cultures pratiquées	101
Tableau 20	Inventaire des pesticides recensés en usage sur les cultures maraîchères à Ain Naga et Doucen et listés sur l'index phytosanitaire Algérien (2015).	110
Tableau 21	Les différentes IFT Traitement et substances actives engagées dans la protection phytosanitaire dans les deux communes d'étude.	113
Tableau 22	Nombre de traitements phytosanitaires par saison.	114
Tableau 23	Les différentes pressions d'utilisation de pesticides, en détails, selon les cultures et par commune.	116
Tableau 24	L'indice de pression de traitements phytosanitaires par type de cultures	120
Tableau 25	L'indice de pression de traitements phytosanitaires sur localité, par localité et par rapport aux communes.	122
Tableau 26	Connaissance des agriculteurs concernant les pesticides leurs risques associées	134
Tableau 27	Local de stockage	135
Tableau 28	Moments et fréquences des traitements	140
Tableau 29	Mixage des produits phytosanitaires	141
Tableau 30	Pesticides suspectés par les agriculteurs enquêtés d'être la source de leurs problèmes de santé, en 2016 et 2017	146
Tableau 31	Liste des dix-huit substances actives les plus utilisés dans les communes d'Ain Naga et de Doucen avec leur activité biologique, leurs propriétés physicochimiques et toxicologiques et classification CLP selon la base de données de l'UE sur les pesticides	160
Tableau 32	L'indice de Gustafon (GUS) et les catégories de substances actives	162
Tableau 33	Score de risque environnemental pour les pesticides (ERS) calculé à l'aide du modèle PERI	166
Tableau 34	Les substances actives les plus utilisés à Ain Naga et Doucen, les produits chimiques, et l'indicateur final correspondant de risque environnemental (indicateur final d'ER).	167

Liste Des Figures

Figure 1	Production mondiale des légumes frais en 2017, par région, pays et type de culture (en millions de tonnes)	13
Figure 2	Evolution des superficies et de production du maraichage dans la wilaya de Biskra entre 2007 et 2018	16
Figure 3	Les principaux légumes produites dans la région Biskra, classé en groupes.	17
Figure 4	Pesticides utilisés à des fins agricoles en Algérie par catégorie entre 2007-2017	22
Figure 5	Evolution d'utilisation des produits phytosanitaires liquides dans la région de Biskra entre 2005- 2014	23
Figure 6	Evolution d'utilisation des produits phytosanitaires solides dans la région de Biskra entre 2005- 2014	23
Figure 7	Certains légumes et fruits les plus et les moins contaminés par les pesticides	40
Figure 8	Devenir des pesticides dans l'environnement pendant et après pulvérisation	45
Figure 9	Analyse des risques : approche générale et principe	54
Figure 10	L'évaluation de l'toxicité de pesticides pour les différentes espèces.	58
Figure 11	Schéma récapitulatif de l'évaluation du rapport dose (concentration) - réponse (effet)	61
Figure 12	Les cinq méthodes de diagnostic des polluants et des impacts	63
Figure 13	Les formes et les objectifs correspondants des indicateurs de risques	68
Figure 14	Schéma des différents groupes d'indicateurs de risques liés à l'usage de pesticides	70
Figure 15	une représentation simplifiée de l'approche Pression - Etat - Réponse dans le cas des pollutions de l'eau provenant des activités agricoles	74
Figure 16	Localisation de Biskra et les communes d'étude, Ain Naga (Ziban Est) et Doucen (Ziban Ouest) (région de Biskra, Algérie). Ces cartes ont été produites à l'aide d'ArcMap version 10.6.1.	76
Figure 17	Le diagramme Ombrothermique de Gaussen pour la région de Biskra (2007-2017)	80
Figure 18	Le climagramme d'EMBERGER de la région de Biskra durant la période 2007-2017	81
Figure 19	Situation géographique et réseau hydrographique de la région de Biskra et des communes d'étude	82
Figure 20	Carte des emplacements des sites d'enquête à Ain Naga	85

Figure 21	Carte des emplacements des sites d'enquête à Doucen	86
Figure 22	Capture d'écran des données du questionnaire saisies et codées à l'aide du logiciel SPSS ver. 24.	91
Figure 23	Les scores des différentes composantes du modèle PERI	97
Figure 24	Répartition de types d'exploitation dans les deux communes enquêtées	98
Figure 25	Caractéristiques générales exploitations visitées dans les deux communes	100
Figure 26	Cultures produites en plein champs	101
Figure 27	Cultures produites sous serres	102
Figure 28	Les majeurs problèmes phytosanitaires rencontrés dans les cultures maraichères.	103
Figure 29	La distribution des insectes et ravageurs les plus rencontrés dans les cultures maraichères.	103
Figure 30	Les insectes et ravageurs les plus rencontrés dans les cultures maraichères	104
Figure 31	Radar de la distribution des maladies fongiques sur les cultures maraichères.	105
Figure 32	Les maladies fongiques sur les cultures maraichères	105
Figure 33	Radar de la distribution des maladies bactériennes sur les cultures maraichères.	106
Figure 34	Radar de la distribution des maladies virales sur les cultures maraichères.	106
Figure 35	Radar de la distribution des carences reconnus sur les cultures maraichères.	107
Figure 36	Radar de la distribution de majeures mauvaises herbes rencontrées sur les cultures maraichères.	107
Figure 37	Les mauvaises herbes souvent rencontrés dans les serres et les champs des cultures maraichères	108
Figure 38	Familles chimiques et types de produits phytosanitaires recensés en usage fréquent.	109
Figure 39	La pression d'utilisation de pesticides (IFT totale Moyen) selon les cultures et par commune.	117
Figure 40	L'intensité d'utilisation de pesticides sur cultures, par site, commune d'Ain Naga.	118
Figure 41	L'intensité d'utilisation de pesticides sur cultures, par site, commune de Doucen.	119
Figure 42	Caractéristiques sociales et démographiques des maraichers d'Ain Naga et Doucen.	132
Figure 43	Reconnaissances des dégâts, et symptômes de maladies sur les cultures	133

Figure 44	Choix, et approvisionnement des pesticides	135
Figure 45	Stockage de pesticides	136
Figure 46	Types de pulvérisateurs utilisés, et le chargé des traitements des cultures	137
Figure 47	Les appareils utilisés dans les traitements des cultures	137
Figure 48	Entretien des pulvérisateurs avant et après	138
Figure 49	Types d'équipements de protection personnelle utilisée comme précaution lors du traitement phytosanitaire	139
Figure 50	Agriculteurs ne respectant pas les mesures de protection personnelle.	139
Figure 51	Lecture des étiquettes, respect des doses d'application, et des délais d'attente avant récolte.	141
Figure 52	Hygiène après la pulvérisation des produits phytosanitaires	142
Figure 53	Gestion des emballages vides des pesticides, et élimination des restes de pulvérisations	143
Figure 54	Emballages vides (a, b) jetés par terre, et trouvés dans l'exploitation	143
Figure 55	Risque d'exposition lors d'un travail au sein de la serre.	144
Figure 56	Effets ressentis et symptômes d'exposition chez les agriculteurs enquêtés, et liés à l'usage des pesticides	145
Figure 57	Agriculteur confirme que le Spafér qui provoque le noircissement des mains et des irritations	147
Figure 58	Existence de séances vulgarisation, et de sensibilisation sur les produits phytosanitaires	148
Figure 59	Total des superficies traitées avec cinq substances actives susceptibles de causer la contamination de l'eau à Ain Naga et Doucen.	164
Figure 60	Les différentes localités d'Ain Naga et Doucen menacés par le risque de contamination des eaux souterraines par trois types de substances actives.	165
Figure 61	Présentation des scores de risque normalisés de l'indicateur final de risque environnemental pour dix-huit substances actives.	169

« La terre est en train de mourir.

*Elle se noie, elle est écrasée sous un déluge de pesticides et de
pollutions toxiques.*

La science ne la sauvera pas.

La technologie ne la sauvera pas.

*Elles sont ses ennemis, la véritable source de l'horreur et de la
contagion.*

Nous devons nous opposer à elles tout de suite. »

***Robert Ludlum : La Vendetta Lazare de Robert
Ludlum***

Résumé

En Algérie, la culture maraîchère se pratique à travers tout le pays, et grâce à son caractère socio-économique cette filière a occupé une place considérable, particulièrement à Biskra. Le passage à l'agriculture moderne et intensive a entraîné une utilisation abondante de produits phytosanitaires à toxicité multiple. En dépit de sa popularité et ses avantages, ces produits sont utilisés de manière excessive et inappropriée, mettant en danger la santé humaine et l'environnement. Ce travail vise à évaluer les pratiques professionnelles locales, les risques sanitaires et environnementaux potentiels liés aux produits phytosanitaires appliqués aux cultures. Pour ce faire, des enquêtes par questionnaire sont réalisées auprès de 96 maraîchers localisés dans les communes d'Ain Naga et de Doucen à la région de Biskra, durant les campagnes agricoles 2016/2017 et 2017/2018. Les indicateurs de risques (indice de fréquence de traitement (IFT), indice de pression phytosanitaire (IPP), indice de Gustafon (GUS) et indice de risque environnemental des pesticides (PERI modèle) ont été choisis et appliqués sur dix-huit substances actives comptées en usage dans les deux communes. Les résultats obtenus ont montré que 143 formulations commerciales et 70 substances actives sont recensées à l'échelle des deux communes, avec tendance à épandre bien davantage d'insecticides, suivis par les fongicides et peu d'herbicides. La computation des indices IFT et IPP indique que les cultures de piment, d'aubergine de tomate sont fortement consommatrices en PPP, ce qui génère une très forte pression polluante, notamment à Doucen. En outre, la plupart des maraîchers enquêtés possèdent un faible niveau d'éducation et manquent de formations en agriculture, alors que 50% d'entre eux méconnaissent les pesticides et leurs risques dérivés. Bien plus, le non-respect des bonnes pratiques phytosanitaires et la mauvaise application de ces produits ont entraîné la libération des polluants dans la nature et par conséquent l'exposition de la santé, et près de 60% des maraîchers enquêtés ont confirmés subir des troubles sanitaires soit lors ou juste après la pulvérisation de pesticides. Majoritairement par voie respiratoire (plus de 28%), et/ou par voie cutanée (plus de 15%). L'indice de Gustafon a permis d'identifier les molécules à tendance pour polluer les eaux superficielles et souterraines, à savoir le chlorantraniliprole, l'imidaclopride, l'hexaconazole, le métribuzine et le triadimenole. Par ailleurs, 13 localités à Ain Naga et 10 localités à Doucen sont classées à risque. Parmi lesquelles les plus vulnérables et qui témoignent un emploi simultané de plusieurs molécules en maraîchage, quatre localités à Ain Naga (Feidh Sala, Horraya, Tabet Chanouf et Lamnisaf) contre deux localités à Doucen (Tamda et Elmarhoum). De plus, l'application du modèle PERI a montré que le triadimenole (6,13) présente le score plus élevé du risque environnemental (RES). Considérant que le calcul du score final du risque environnemental (RE) a montré que la plupart des S.A. comptées sont très toxiques pour la vie aquatique, avec de longs effets pour les écosystèmes et l'environnement, surtout le diazinon (120) à Ain Naga et la trifloxystrobine (105,20) à Doucen. Il est donc impératif que les agriculteurs soient formés et/ou sensibilisés sur l'utilisation sûre et raisonnée de ces produits pour réduire leurs risques.

Mots clés : Produits phytosanitaires, impact environnement, maraîchage, zones à risque potentiels, Biskra.

Abstract

In Algeria, market gardening is practised throughout the country, and owing to its socio-economic character, this branch has occupied a considerable place, particularly in Biskra. The transition to modern, intensive agriculture has led to the extensive use of multi-toxic plant protection products. Despite its popularity and advantages, these products are used excessively and inappropriately, endangering human health and the environment. This work aims to assess local professional practices and the potential health and environmental risks associated with crop protection products. To do this, questionnaire surveys are conducted among 96 market gardeners located in the communes of Ain Naga and Doucen in the Biskra region, during the 2016/2017 and 2017/2018 agricultural seasons. The risk indicators (treatment frequency index (TFI), pest pressure index (PPI), Gustafon index (GUS) and pesticide environmental risk index (PERI model) were selected and applied on eighteen active substances counted in use in the two communes. The results obtained showed that 143 commercial formulations and 70 active substances are counted at the level of the two communes, with a tendency to apply much more insecticides, followed by fungicides and few herbicides. The calculation of the IFT and IPP indices indicates that pepper, aubergine and tomato crops consume large amounts of PPPs, which generates very high pollution pressure, particularly in Doucen. In addition, most of the market gardeners surveyed have a low level of education and lack training in agriculture, while 50% of them are unaware of pesticides and their associated risks. Moreover, the failure to follow good phytosanitary practices and the poor application of these products led to the release of pollutants into the environment and consequently to health exposure, and nearly 60% of the market gardeners surveyed confirmed that they suffered health problems either during or just after pesticide spraying. Mostly by the respiratory route (more than 28%), and/or by the skin route (more than 15%). The Gustafon index made it possible to identify the molecules with a tendency to pollute surface and ground water, namely chlorantraniliprole, imidacloprid, hexaconazole, metribuzin and triadimenole. In addition, 13 localities in Ain Naga and 10 localities in Doucen are classified as at risk. Among them, the most vulnerable and which show a simultaneous use of several molecules in market gardening, four localities in Ain Naga (Feidh Sala, Horrara, Tabet Chanouf and Lamnisaf) against two localities in Doucen (Tamda and Elmarhoum). Moreover, the application of the PERI model showed that triadimenole (6.13) has the highest environmental risk score (RES). Whereas the calculation of the final environmental risk score (ER) showed that most of the A.S. counted are highly toxic to aquatic life, with long lasting effects on ecosystems and the environment, especially diazinon (120) in Ain Naga and trifloxystrobin (105,20) in Doucen. It is therefore imperative that farmers are trained and/or made aware of the safe and rational use of these products to reduce their risks.

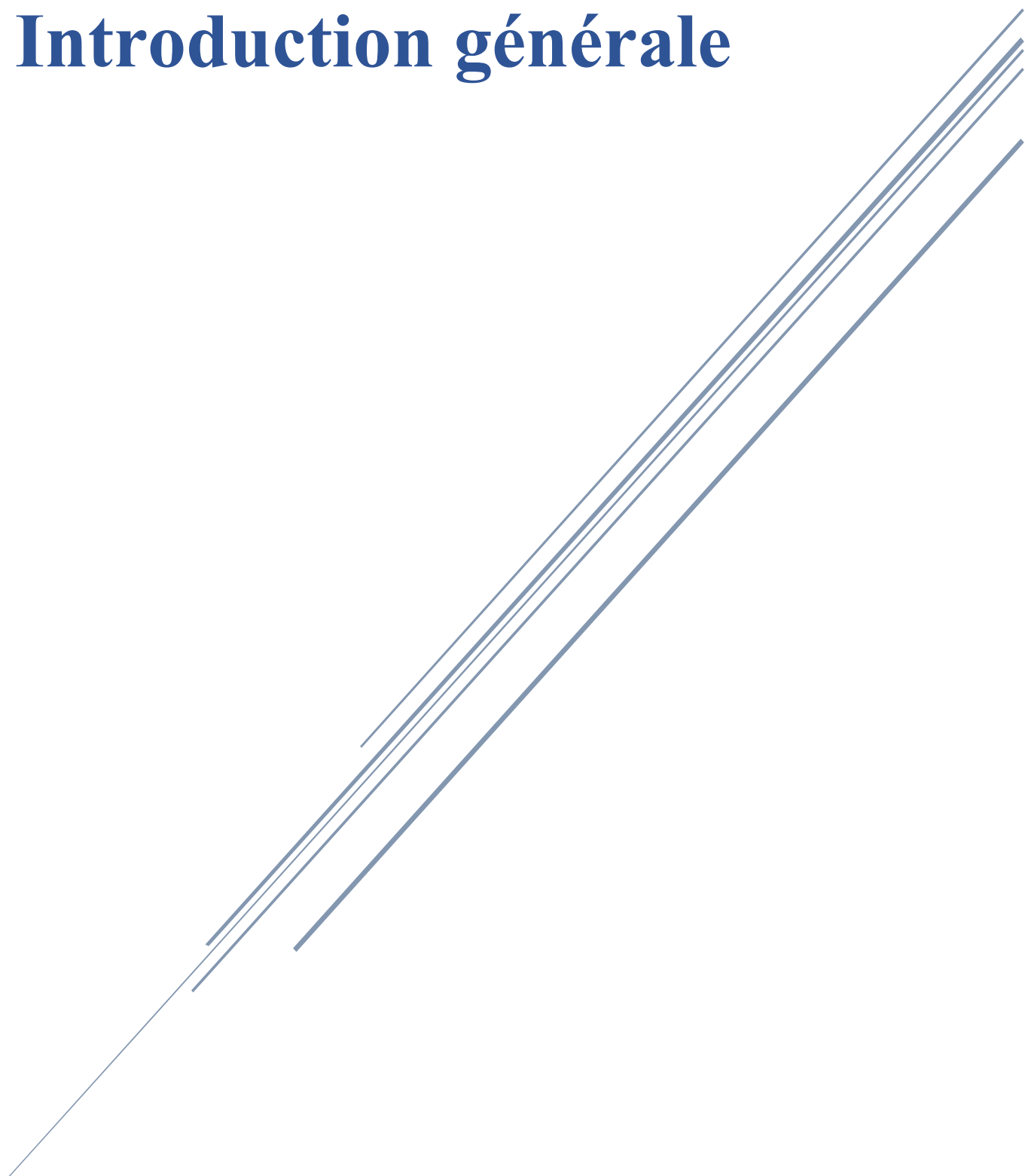
Keywords: Plant protection products, environmental impact, market gardening, potential risk areas, Biskra.

ملخص

في الجزائر، تمارس زراعة الخضروات في جميع أنحاء البلاد، وبفضل طابعه الاجتماعي والاقتصادي، احتل هذا القطاع مكانة هامة، لا سيما في بسكرة. في حين أدى الانتقال إلى الزراعة الحديثة والمكثفة إلى الاستخدام الواسع لمنتجات الصحة النباتية ذات السمية المتعددة. و على الرغم من شعبيتها وفوائدها، إلا انها تستخدم بشكل مفرط وغير المناسب مما يعرض صحة الإنسان والبيئة للخطر. و عليه يهدف هذا العمل إلى تقييم الممارسات المهنية المحلية والمخاطر الصحية والبيئية المحتملة المتعلقة بمنتجات الصحة النباتية المطبقة على المحاصيل. للقيام بذلك، تم إجراء مسوحات استقصائية مع 96 مزارع خضروات في بلديات عين الناق والدوسن في منطقة بسكرة، خلال الحملات الزراعية 2016/2017 و 2017/2018. حيث تم اختيار وتطبيق مؤشرات المخاطر (مؤشر تكرار العلاج (IFT) ، مؤشر ضغط الصحة النباتية (PPI) ومؤشر (GUS) Gustafon ومؤشر المخاطر البيئية لمبيدات الآفات (نموذج PERI) على ثمانية عشر مادة فعالة تم احصاؤها تستخدم في كلا البلديتين. أفادت النتائج المتحصل عليها على احصاء 143 منتجات صحة نباتية، و70 مادة فعالة يتم استخدامها على مستوى عين الناقة و الدوسن، مع ميل لتطبيق المزيد المبيدات الحشرية، ثم مبيدات الفطريات و بدرجة أقل مبيدات الأعشاب. أظهر حساب مؤشرات IFT و PPI أن محاصيل الفلفل والباذنجان والطماطم هي مستهلكات عالية لمنتجات الصحة النباتية مما يولد ضغط تلوث شديدا، لا سيما بمنطقة الدوسن. كما تميز معظم مزارعي الخضروات الذين شملهم الاستطلاع بمستوى تعليمي ضعيف وبنقص التدريب الزراعي، في حين أن 50٪ منهم غير مدركين لماهية مبيدات الآفات والمخاطر المرتبطة بها. وأدت ممارسات الصحة النباتية وسوء استخدامها إلى إطلاق الملوثات في الطبيعة وبالتالي التعرض للصحة، و أكد ما يقرب 60٪ من مزارع خضروات من وقوع مشاكل صحية سواء أثناء أو بعد رش المبيدات مباشرة، خاصة عن طريق التنفس (أكثر من 28٪)، و / أو عن طريق ملامسة الجلد (أكثر من 15٪). أتاح مؤشر جوستافون تحديد الجزيئات التي تميل إلى تلوّث المياه السطحية والجوفية، مثل كلورانترانيلبيرول، إيميداكلوبريد، هيكساكونازول، ميتريبيوزين، ترياديمينول. كما صنفت ثلاثة عشر منطقة في عين الناقة مقابل عشرة مناطق في الدوسن هي مناطق على أنها في خطر. أهمها أربع مناطق في عين الناقة (فيض السلة، الحرية، طبة شنوف، المنيف) مقابل منطقتين في الدوسن (تامدة والمرحوم)، والتي تعد الأكثر تضرراً وتشهد استخداما مكثفا لعدة جزيئات في نظام زراعة الخضروات. وأظهر تطبيق نموذج PERI أن لديه أعلى درجة للمخاطر البيئية (RES). بينما أشار حساب مؤشر المخاطر البيئية النهائي (ER) إلى أن معظم المواد الفعالة المحصية هي شديدة السمية للحياة المائية، مع تأثيرات دائمة على النظم البيئية والبيئة. خاصة الديازينون (120) في عين الناقة وتريفلو كسيستروبيين (105.20) في الدوسن. و عليه، فإنه من الضروري تدريب المزارعين و / أو توعيتهم بشأن الاستخدام الآمن و العقلاني لهذه المنتجات لتقليل مخاطرها بشكل كبير.

الكلمات المفتاحية: منتجات الصحة النباتية، الأثر البيئي، زراعة الخضروات، مناطق ذات خطر محتمل، بسكرة.

Introduction générale



L'agriculture est la solution idéale pour garantir la nourriture, assurer l'autosuffisance et la sécurité alimentaire des pays, en particulier avec une population mondiale en croissance exponentielle, qui devrait atteindre 9,8 Billions en 2050 (FAO, nd).

L'Algérie étant un pays méditerranéen et africain doté d'un grand substrat de 2 381 741 km² et une population croissante de 1,60 % a considéré la pertinence du secteur agricole et ses intérêts. Parce que, la stabilité de chaque pays et sa souveraineté alimentaire sont un besoin exigé (Sahali et al., 2016), tout en établissant une ambiance socio-économique satisfaisante dépendant essentiellement de l'agriculture (Alahyane, 2017).

Un secteur agricole qui revêt un intérêt socio-économique (Agnandji, 2018 ; Son, 2018), duquel environ 40 % des populations en dépendent (Omran et Najem, 2020), et peut répondre à presque 70 % les besoins alimentaires de la nation (FAO, 2015).

Depuis au moins trois décennies, la totalité des programmes étatiques proposés portent sur le développement du secteur agricole et des activités de production, sans considération du volume budgétaire à consommer. En effet, ces programmes concernent les actions du développement agricole, du soutien à l'énergie électrique, du renforcement des infrastructures, et de la modernisation de matériels d'irrigation (Bouder et Chella, 2017 ; Bessaoud et al, 2019).

Les dépenses des pouvoirs publiques consacrées à l'agriculture ont représenté, à titre d'exemple, en 2013, 18,63 % du PIB. Tandis, que sur la période 2000-2015, le montant global dédié à ce secteur est équivalent à 1 041,28 Milliards de DA, soit 255,79 Milliards de DA pour les budgets d'équipement avec 785,49 Milliards de DA de fonds (Bessaoud, 2019).

Ceci a considérablement contribué à augmenter la part de l'agriculture dans la valeur ajoutée nationale à 12,4% et 16,2% hors hydrocarbures (ONS, 2018 in MADR, 2020). La valeur de la production enregistrée pour 2019 a atteint 3 496,0 milliards Da (plus de 29 milliards USD, taux de change moyen 119 Da/\$) contre 3 059,9 milliards Da (27,6 milliards USD, taux de change moyen 111 Da/\$) en 2017 (MADR, 2020). En plus, le pays a atteint un score de 9,5 au Global Hunger Index (pays à faible risque alimentaire), soit le 79^{ème} rang mondial et le 42^{ème} rang africain (www.Atlasocio.com).

Face au regard porté par l'État algérien sur les zones désertiques sahariennes, une telle politique a relancé économiquement et socialement de nombreuses régions, y compris la région aride de

Biskra (Ouendeno, 2014 ; Hartani *et al.*, 2014 ; Bouder et Chella, 2017). Cette dernière a connu une révolution stupéfiante dans son économie locale et pratiquant une agriculture irriguée et intensive. Voir une dynamique qui a pu se concrétiser grâce à la disponibilité de l'eau renouvelable et de la main d'œuvre. Mais surtout due à son positionnement géographique exceptionnelle de la région en rapport avec les grands marchés du Nord du pays (Kouzmine, 2007). Depuis vingt ans, la région de Biskra a poursuivi la production de diverses espèces et variétés agricoles tout le long de l'année.

Du coup, d'une part, les trois paliers de culture du système oasien, soient le palmier dattier, l'arboriculture et le maraîchage (Salhi, 2017) ont pu bénéficier pleinement des soutiens accordés par l'État. Ce qui a permis d'obtenir un progrès considérable, un des atouts majeurs de cette évolution est l'extension des surfaces cultivées et de productions, en particulier de celles de la filière maraîchère gérée en intensif.

En effet, Biskra est devenu un des leaders régionaux dans la production de légumes frais à travers le pays et a réussi à assurer 32% de besoins en production de cultures maraîchères nationales (DSA, 2019). Elle a recensé 23488 hectares de légumes cultivés en plein champ et 7238 hectares en serres, ce qui fait que la superficie couverte par les serres a été multipliée par cinq en 2019 (DSA, 2019).

Bien que ces cultures potagères participent grandement au revenu des ménages, et occupent désormais une position centrale dans la plupart des programmes nutritionnels et de la lutte contre la pauvreté (Yarou *et al.*, 2017). Ils sont souvent exposés à des attaques parasitaires et aux maladies, en particulier lorsqu'elles sont plantées sous serres. Or, dans le contexte de développement agricole intensif, le recours aux produits phytosanitaires (PPP) sur les cultures agricoles est par défaut d'alternatives efficaces.

D'une part, les produits phytosanitaires sont devenus incontournables tout en étant fortement sollicités par les agriculteurs de la région, car celles-ci représentent pour eux une solution à la fois immédiate et efficace face aux nuisibles agricoles (Ntow, 2006). Bien plus, de leur disponibilité, leur commercialisation sous des formulations multiples et dans des fonctions diverses, incite à une utilisation sans faille à travers tout le pays (Bessaoud *et al.*, 2019).

D'autre part, l'utilisation de ces produits est systématiquement associée à des risques sanitaires et environnementaux (Diop, 2013). Les expositions chez les humaines et la survenue des

pollutions sur l'environnement proviennent souvent de la méconnaissance des bonnes pratiques agricoles et le non-respect de conditions de sécurité.

Ainsi, le scénario libanais atteste à quel point la stratégie d'intensification de la productivité agricole est toujours associée à une utilisation peu contrôlée et offensive de pesticides (Kanj, 2018). De plus, les épandages répétitifs entraînent la résistance des bioagresseurs au traitement, ce qui fait appel à davantage des produits toxiques, impactant ainsi les organismes non-cibles, y compris les insectes auxiliaires (Ntow, 2006 ; Agnandji, 2018). Cependant, tout ceci se passe actuellement en Algérie.

Problématique

La région de Biskra qui est une entité des régions sahariennes arides et semi-arides se caractérise par la pratique d'une agriculture irriguée, dont les grandes spécialités sont le palmier dattier (43%), les céréales, les plantes fourragères irriguées (32%) et le maraîchage (22,5%) (DSA, 2019). La production maraîchère s'est fortement ouverte aux marchés extérieurs grâce aux soutiens accordés par l'État, mais aussi grâce à l'entrée massive de producteurs et d'investisseurs dans ce secteur. Alors que, ces cultures fassent constamment appel aux PPPs, les inquiétudes au sujet de la qualité de légumes de consommation déjà traités augmentent (Dugué et *al.*, 2017). Ainsi, il a été nécessaire de se rendre compte que lesdits produits exposaient prodigieusement leur propre santé et pesaient négativement sur la nature. Parallèlement, les écosystèmes locaux de la région connaissent une fragilisation.

Concrètement, les ressources naturelles en sols et en eaux se dégradent sous la pression de leur exploitation régulière et intensive. À l'instar des pays africains, l'Algérie se retrouve confrontée aux conséquences risquées et perturbantes de ces PPPs tant sur la santé humaine et sur l'environnement. L'Algérie est un importateur de produits phytosanitaires qu'elle utilise, et ne dispose pas encore une industrie manufacturière de pesticides (Touadi, 2018 ; Slama, 2018).

En outre, les dispositions législatives en vigueur sont très anciennes et ne répondent pas à la réalité. À titre d'exemple, 480 formulations commerciales et spécialités pesticides certifiés, soit 15 à 20 substances actives (s.a.) introduites par an en grande quantité (Ayad-Mokhtari, 2012). Au cours de l'année 2016, 6 000 à 10 000 flacons de différents pesticides se sont utilisés sur le terrain sans aucun contrôle, (Manseur, 2018). Ensuite, une cinquantaine de produits non

homologués et non soumis au contrôle, soit 10% à 15% de produits issus de la contrebande et du marché noir (Slama, 2018).

L'Algérie est pareille à de nombreux pays africains, menacée par les effets risqués et perturbantes des PPPs. Devant les impacts éventuels de ces produits et le mode d'intensification sur l'environnement ainsi que sur la santé des producteurs et des consommateurs (Cissé *et al.*, 2006 ; Ngom *et al.*, 2012 ; Diop, 2014), l'évaluation périodique sur la présence de résidus de pesticides dans les divers compartiments et le besoin de mettre en œuvre des actions correctrices sont devenues une des priorités majeures, surtout dans les pays en développement, y compris en Algérie (Bettiche, 2017 ; Omran et Nejm, 2020).

Dans ce contexte, seuls les travaux scientifiques relatifs au secteur agricole sont capables de résoudre les problèmes émergents, pesant lourdement sur l'économie et mettant en péril la sécurité alimentaire de populations.

En Algérie, la science est progressivement tournée vers la problématique des produits phytosanitaires et leurs impacts sanitaires et environnementaux. Une thématique qui revêt de plus en plus de l'importance à l'échelle nationale et internationale, et un nombre restreint des études déjà existantes qui ont abordées certains aspects des PPPs, à savoir l'usage (Louchahi, 2015), la gestion (Kheddoum-Benadjal, 2012), types et caractérisation des jets de pulvérisation (Boukhalfa, 2016). La toxicité (Soltani, 2015 ; Yahia, 2015; Boumaza, 2017; Ghenabzia, 2017 ; Tahar *et al.*, 2017), et l'écotoxicité (Chahbar *et al.*, 2011 ; Nabti *et al.*, 2015), l'analyse des résidus (Benlahcen *et al.*, 2013 ; Saidi, *et al.*, 2017 ; Mebdoua *et al.*, 2017 ; Belguet *et al.*, 2019), ainsi la pollution (Hadjel et Berkok, 2009 ; Moussaoui *e al.*, 2012 ; Lebik et Ait-amar, 2013 ; Oukali-Haouchine *et al.*, 2013).

Par ailleurs, les travaux de recherche menés sur l'évaluation de la manifestation des pesticides dans les divers compartiments de l'environnement et la santé humaine sont quasiment absents en Algérie (Omran et Nejm, 2020). Ainsi, pour la région de Biskra, très peu se sont penchés sur cette problématique. À titre d'exemples, Ramdani *et al.* (2009) et Belhadi *et al.* (2016) se sont intéressés à questionner sur les pratiques phytosanitaires chez les serristes maraichers et leur impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement. Aissaoui (2012) avait exposé que les produits phytosanitaires et les engrais sont capables de favoriser une abondance en métaux lourds (Cu, Zn) dans les sols et chez les plantes.

Quant à Bettiche et *al.* (2017 ; 2019) sont parvenu à réaliser des analyses et à démontrer la possibilité d'occurrence d'une contamination des eaux et des sols induite par certains résidus de pesticides employés en production serricole conduit en intensive.

Toutefois, l'évaluation des risques liés aux produits phytosanitaires d'origine agricole par la prise d'échantillon, l'analyse et la surveillance des résidus nécessite tout un processus coûteux, surtout pour les pays en développement. De fait, ces actions à effectuer exigent des capacités déterminées, notamment un laboratoire équipé de dispositifs performants et de personnels expérimentés pour mener à bien l'évaluation (FAO, 2010). Malgré cela, une contrainte de la limitation des analyses sur les PPPs ne fait pas obstacle au besoin de surveiller la diffusion et les usages de ces produits (FAO, 2010). Ainsi, une collecte régulière des informations devrait aboutir à la création de bases de données servant à mobiliser les décideurs afin de limiter ou de réduire les abus de PPPs.

Dans cette perspective, la présente thèse a inspiré son originalité en comparaison à des travaux antérieurs entrepris au niveau de la région de Biskra. D'une part, elle a cherché à investiguer la situation et la durabilité des systèmes agricoles intensifiés de cette région aride, plus particulièrement les cultures maraîchères, pour lesquelles on se base sur une évaluation de l'impact de l'utilisation des produits phytosanitaires sur l'environnement, y inclus la santé humaine.

D'autre part, la thèse propose de se servir des indicateurs permettant d'estimer le risque associé aux produits phytosanitaires sur le milieu naturel et d'identifier les zones à risque potentiel. De la sorte, il arrive cependant que le recours à une telle démarche soit envisagé pour la première fois dans la région de Biskra. Même si ce travail viendra compléter ceux ayant déjà porté sur la thématique des produits phytosanitaires, le but principal est de confirmer les acquis, de les actualiser et de rajouter de nouveaux résultats pertinents pour la prise des décisions correctrices.

Questions de recherche

Au cours de ce travail de recherche, nous tenterons de déterminer les conditions de l'utilisation de produits phytosanitaires sur des cultures maraîchères de forte consommation, entre autres celles produites sous serres dans la région de Biskra. Ainsi qu'à évaluer les risques sanitaires et environnementaux associés à cette utilisation en répondant aux questions suivantes :

1. Quels sont les caractéristiques des exploitations maraîchères et les majeurs problèmes phytosanitaires affectant cette division agricole ?
2. A propos, l'application de produits phytosanitaires sur les productions agricoles :
 - a. Quels sont les pratiques phytosanitaires suivies par les agriculteurs ?
 - b. Appliquent-ils correctement et en toute sécurité (vêtements de protection individuelle, respect des quantités et de la période avant récolte) ces produits?
 - c. Quelle est l'étendue de leurs connaissances, comportements et perception de danger vis-à-vis les PPPs ?
 - d. Y a-t-il des incidences d'exposition aux pesticides signalés parmi les agriculteurs enquêtés ?
3. Peut-on réduire ou prévenir les risques pour l'environnement posés par les pesticides avant leur application sur le sol ? Est-ce qu'un indicateur de risque environnemental peut porter de l'aide ?

Plan de la thèse :

Mise à part l'introduction générale, ce travail est scindé en deux principales parties, à savoir bibliographique et expérimentale.

Dans la première partie, un état de l'art est développé, dont une synthèse bibliographique sur la production agricole et maraîchère dans la région de Biskra. Après cela, une présentation sur les données générales des produits phytosanitaires, la réglementation conjointe et les processus de dispersion de ces produits dans l'environnement. Par la suite, les risques (sanitaires et environnementaux) relatifs aux produits phytosanitaires sont exposés, et enfin, une évaluation et un diagnostic des risques environnementaux sont ainsi présentés.

Ensuite, la seconde partie expérimentale inclue :

- Une présentation des caractéristiques de la région d'étude, y compris les communes sélectionnées pour l'enquête.
- Matériel et méthodes : c'est-à-dire la méthodologie de l'enquête établie, et la présentation de démarches des indicateurs des risques environnementaux choisies.
- Résultats et discussions: d'où les résultats obtenues sont présentés en trois entités :

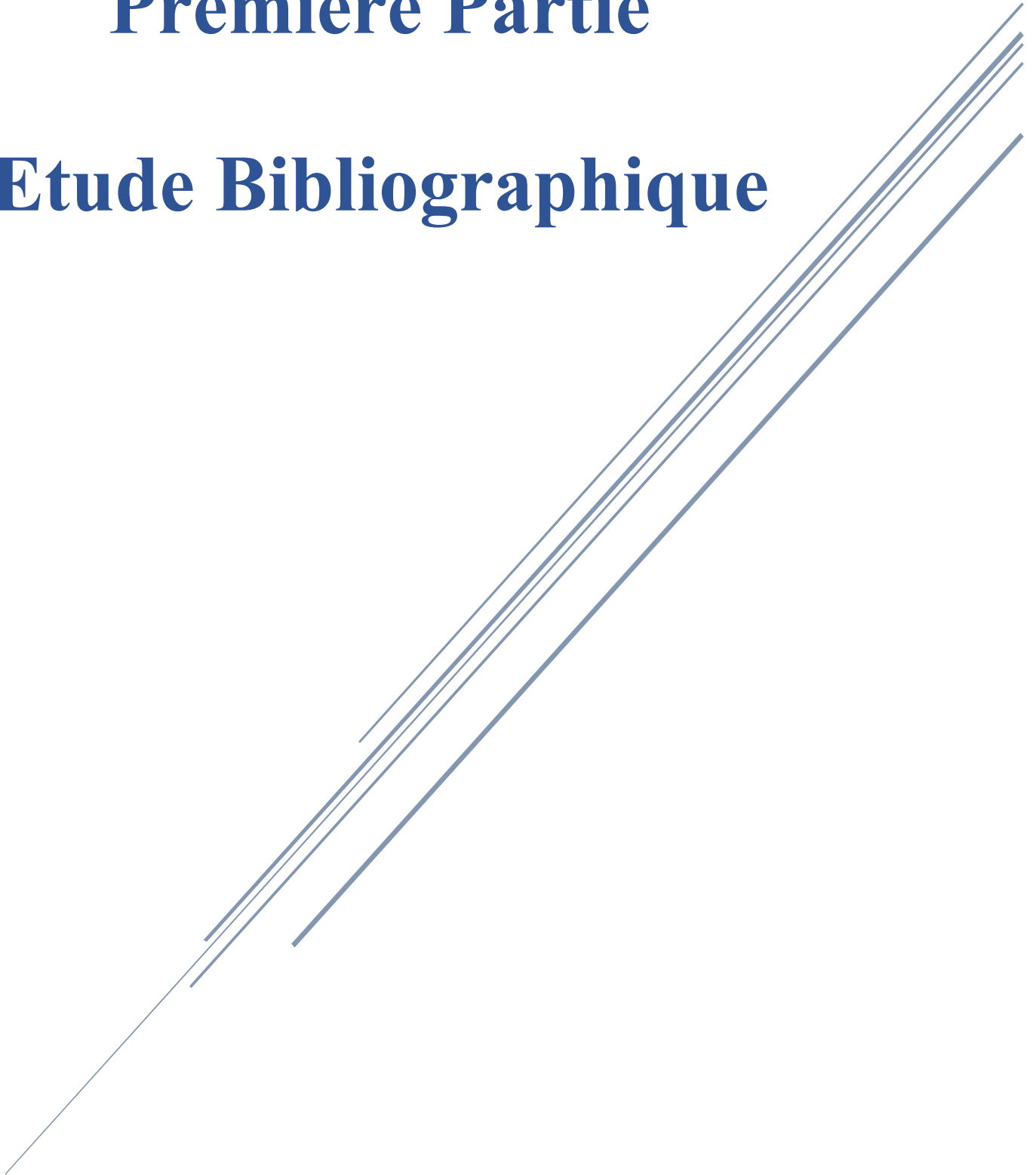
- A. Cultures maraîchères, et protection phytosanitaire : qui nous a permis d'explorer les exploitations enquêtées, de définir les menaces sur la production agricole, de recenser les PPPs utilisés dans la région de Biskra, et enfin évaluer les pratiques phytosanitaires.
- B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque chez les maraîchers : est consacré à vérifier les habitudes phytosanitaires des agriculteurs.
- C. Évaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement dans la région de Biskra, afin d'évaluer les dangers potentiels sur l'environnement manifestés par l'usage de ces produits.

Puis, la conclusion générale, les recommandations et perspectives possibles.

À la fin, une présentation de toutes les productions scientifiques réalisées en relation avec la problématique de cette thèse.

Première Partie

Etude Bibliographique



Chapitre I. Production agricole et maraîchère

I.1. Production agricole et potentialités

I.1.1. En Algérie

Au cours les vingt dernières années, l'Algérie s'est placée au premier rang des pays africains qui donnent de l'importance au secteur agricole. Ce secteur attire constamment les différentes catégories de la société, notamment les investisseurs y compris ceux qui sont sans qualification, soit 27,4% du totale d'habitants en 2018 présentant la population rurale (FAOSTAT, 2019).

C'est grâce aux plusieurs mesures d'accompagnement et d'encouragement accordées par l'Etat. Par exemple, durant les années 2000-2010, le budget du ministère de l'agriculture et du développement rural était de l'ordre de 1 284 Milliards de Dinars avec un soutien de 488 Milliards de Dinars conçu aux exploitations agricoles et aux revenus des agriculteurs (Bessaoud, 2019).

Il se trouve que, durant la période 2000-2015, le secteur agricole reçoit une enveloppe globale de 1 041,28 Milliards DA inclue 255,79 Milliards DA au titre du budget d'équipement, et 785,49 Milliards DA au titre des fonds ; mais en 2013 les dépenses publiques de l'agriculture présentaient 18,63 % du PIBA (Bessaoud, 2019).

En conséquence, une diversité et une abondance dans la production agricole nationale toute au long de l'année, répondant aux exigences du consommateur algérien (qualité et quantité). Par rapport à d'autres secteurs productifs, le secteur agricole a contribué significativement au développement de l'économie nationale, et de la valeur ajoutée dans le produit intérieur brut (PIB) hors hydrocarbures qui dépasse 12% (www.lemaghreb.dz.com).

Une croissance de la valeur production enregistré par le ministère de l'agriculture et du développement rural est 6,1%, soit 3482 milliards de dinars (environ 29,1 milliards de dollars) en 2019 contre 3281 milliards de dinars (environ 28 milliards de dollars) en 2018 (www.lemaghreb.dz.com).

Alors que, le taux de croissance agricole moyen a atteint près de 3,1%, durant le quinquennat 2015-2019, et concernant les légumes (3%) les viandes blanches (4,18%), les viandes rouges

¹ https://www.lemaghreb.dz.com/?page=detail_actuallite&rubrique=Nation&id=98346. Consulter le : 16/04/2020

(1,4%), les légumineuses (8%), l'olive (12,5%), les dattes (4%), et les tomates industrielles (8,6%). Au cours de la dernière décennie, l'agriculture dans les régions sahariennes principalement les Zibans, Oued Righ, Touat, le M'Zab, El-Oued et Ouargla a pris des pas ahurissants comme a déclaré le ministère de l'agriculture et du développement rurale Algérienne (www.lemaghrebdz.com).

Cependant, l'aridité du climat dans ces régions n'a pas empêché le développement de plusieurs cultures, parmi lesquels on trouve la phœniciculture dans les Zibans, El-Oued et Oued Righ, enregistre une production de 10 255 000 qx, dont 53% présente la variété Deglet Nour sur une superficie de 167 279 ha. En revanche, la céréaliculture occupe plus de 81 900 ha dans les Zibans et le pays des dayas.

En outre, les produits maraichers de saison et hors saisons qui alimentent constamment le marché Algérien est pratiqué au niveau du Touat, Oued Righ, M'Zab et surtout dans l'El-Oued et le Ziban, sur une superficie de 92 736 ha, dont 41% destiné à la pomme de terre. Autres cultures comme l'arboriculture (avec une superficie de 21 203 ha), les cultures fourragères (avec une superficie de 19 196 ha) et les cultures industrielles (avec une superficie 5 255 ha).

I.1.2. Dans la région de Biskra

La wilaya de Biskra est à vocation agricole avec une superficie agricole totale égale à 1 652 751 ha, et une surface agricole utile égale à 185 473 ha, dont la surface agricole en irriguée est 117 958 ha, et le reste 1 399 746 ha présente les pacages et parcours (DSA, 2019).

Concernant la population active dans le secteur agricole, la direction des services agricoles de la région de Biskra compte environ 39 % de la population totale de Biskra, soit 361 567 habitants, dont la population active est 124 105 habitants, et 64 730 exploitations agricoles, en plus de 51 528 cartes magnétiques délivrées en 2018 par la chambre d'agriculture de la wilaya au profit des agriculteurs de la région.

Bien que, la phœniciculture est la principale production agricole, et présente 5% de la production nationale de dattes avec de 4 593 854 Qx, certains cultures sont devenus importantes et pratiqués en intensive, en particulier les céréales, ce qui a permis un développement remarquable et un changement majeur de l'agriculture dans la région de Biskra.

Au cours de la campagne agricole 2018-2019, la surface cultivée est estimée de 31 360 ha et une production de 996 090 Qx, avec un taux de production de la wilaya par rapport à la production nationale est estimée à 4%.

Donc, le marché national est continuellement alimenté par différentes cultures, dont les cultures maraîchères (en légumes fraîches et fruits) sont placées en quatrième position par rapport à la production nationale avec une production totale est 10 206 025Qx sur une superficie de 30 726 ha (Tableau1.1).

Parmi ces cultures horticoles, l'oignon, et la pomme de terre respectivement, présentent un taux de production estimée à 5%, et 12% par rapport à la production nationale (Tableau1.1). La viticulture, oléiculture et arboriculture ensemble occupent une superficie estimée à 10 235 ha, et autres cultures (fourragères, tabac, etc.) occupent une superficie estimée à 1 499 ha (DSA, 2019).

Tableau 1 : Production agricole dans la région de Biskra au cours de la campagne agricole 2018-2019 (DSA, 2019)

Cultures végétales	Production (Qx)	Taux de production de wilaya / nationale	Classement National
Dattes	4 593 854	5%	1 ^{ère} avec 42,0%
Maraichage	10 206 025	20%	4 ^{ème} avec 7,5%
céréales	996 090	4%	24 ^{ème} avec 1,6 %
Oignon	466 990	5%	9 ^{ème} avec 3,3%
Cultures fourragères	387 122	28%	36 ^{ème} avec 0,8%
Noyaux / pépins	209 209	27%	23 ^{ème} avec 1,3%
oléiculture	160 740	5%	19 ^{ème} avec 1,9%
Pommes de terre	59 950	12%	36 ^{ème} avec 0,1 %
Viticulture	20 990	4%	20 ^{ème} avec 0,4%
Agrumes	2 969	0%	25 ^{ème} avec 0,0%
Tabac	720	98%	10 ^{ème} avec 0,0%

I.2. Les cultures maraîchères

I.2.1. Intérêt et importance socio-économique

Les produits maraichers offrent aux consommateurs les vitamines nécessaires (A, B, E, K, sels minéraux, etc.) (Kimbatsa et *al.*, 2018). Ces cultures contribuent fortement dans la

sécurité alimentaire de la population, et d'un côté leurs avantages économiques et sociaux sont nombreux. Par exemple, ils sont à la fois viables et rentables pour les chômeurs (étudiants diplômés ou même sans qualification) et retraités, les petits commerçants et distributeur de produits agricoles (équipements agricoles, instantanés organiques et chimiques). En outre, les exportations des produits agricoles surtout tomate, piment, aubergine, etc., rapportent chaque année de bons revenus des devises au pays.

En effet, l'Algérie est comptée parmi les pays les plus exportateurs des produits agricoles dans le monde, et la région de Biskra seule a marqué une production en valeur importante allant de 64.70 milliards de DA en 2009 par rapport à 271.4 milliards de DA en 2018 (DSA, 2019). Ce qui lui a permis à cette wilaya de gagner le privilège de se placer avec la wilaya d'El-Oued en premier rang des wilayas productrices et exportatrices des légumes frais et fruits.

I.2.2. Production maraîchère

I.2.2.1. Dans le monde

Les produits maraichers sont largement demandés et consommés par les ménages, le volume total de production de légumes frais (y compris les melons) a beaucoup évolué. En 2018, environ 1088,9 millions de tonnes sont produits contre 682,43 millions de tonnes de légumes frais (Statista, 2020)², dont les tomates fraîches avec 182 millions de tonnes en 2018 contre 109 millions de tonnes en 2000, suivi par les oignons secs, avec 98 millions de tonnes de production mondiale estimée en 2018 contre 50 millions de tonnes en 2000 (Statista, 2020 ; FAOSATAT, 2020).

Concernant les régions productives en 2017, l'Asie détient la première place avec 834 millions de tonnes, soit 74% de la production totale des légumes frais, suivie par l'Europe avec 96 millions de tonnes, soit 9%. La troisième place est occupée par l'Amérique avec 81 millions de tonnes, soit à 7%, suivi par l'Afrique avec 79 millions de tonnes, et en dernière place à 3% l'Océanie avec environ 33 millions de tonnes de légumes frais (Figure1).

Alors que, pour les dix premiers grands pays producteurs de légumes frais au monde, la Chine est en tête des pays producteurs avec un volume de production d'environ 554 millions de tonnes, suivie par l'Inde en deuxième place avec 127 millions de tonnes. Autant, les États-Unis d'Amérique produisent environ 33 millions de tonnes, la Turquie avec 25%. En

² <https://www.statista.com/statistics/264662/top-producers-of-fresh-vegetables-worldwide/>. Consulter le 01/05/2020

Afrique, Nigeria estime 16 millions de tonnes, suivi par l’Egypte, avec un volume de production estimé à 15 millions de tonnes de légumes frais (Figure 1). Cependant, l’Algérie dispose la dix-septième place avec de 6.8 millions de tonnes parmi vingt premiers pays producteurs des produits maraichers dans le monde en 2013 (Ghelamallah, 2016).

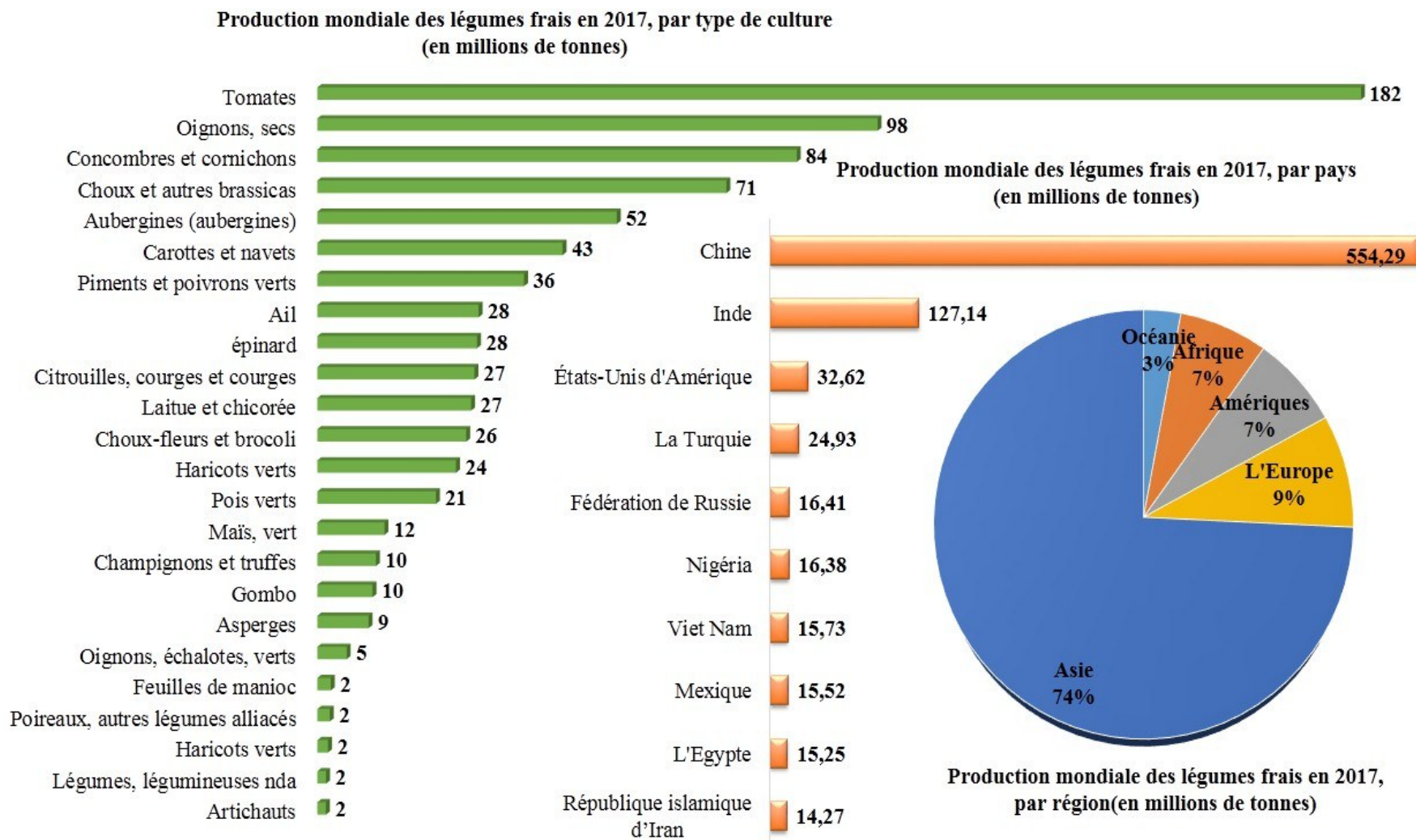


Figure 1: Production mondiale des légumes frais en 2017, par région, pays et type de culture (en millions de tonnes) (FAO, 2017 ; Statista, 2019)

I.2.2.2. En Algérie

Il se trouve que, les conditions climatiques du bassin méditerranéen sont très favorables pour la production maraîchère, et en termes d'importance elle occupe la deuxième position après les grandes cultures (Ghelamallah, 2016). Le maraichage (plein champ et protégés) se pratique dans toutes les régions du pays sans exception, sur de large superficies, en intensif et extra intensif, durant toute l'année afin d'assurer la sécurité alimentaire pour 42 millions d'habitants. En 2018, la valeur de la production nationale (plantes et d'animaux) s'élevait à plus de 3000 milliards de dinars, dont 29% pour le maraichage (www.energyservicesexperts.com³).

a. Evolution des superficies et de la production maraîchère

Au cours des vingt dernières années, la production maraîchère s'y multiplié de 5 à 6 fois plus ; au trimestre de 2018, la production de pommes de terre s'est augmentée à 47 millions qx (contre 12 millions qx au trimestre de 2000) et pour les tomates de consommation à 14 millions qx contre de 4 millions qx (trimestre de 2000) (www.energyservicesexperts.com).

Les données de l'FAOSTAT (2018) montrent que les superficies réservées sont passées de 27 454 ha en 2008 à 54 718 ha en 2018 avec une production estimée de 303 000 tonnes en 2008 contre 1 121 458 tonnes en 2018 ; également des rendements importants sont enregistrés allant de 110 366 (hg/ha) en 2008 à 204 952 (hg/ha) en 2018 (Tableau 2).

Cette amplification de production a contribué beaucoup à limiter les importations de ce type de produits agricoles de l'étranger, et d'avantage à encourager l'exportation des légumes de hautes et bonnes qualités, ce qui a permet la pénétration de la production nationale aux marchés européens et autres internationales.

³ <https://www.energyservicesexperts.com/fr/2019/02/22/algerie-la-valeur-de-la-production-agricole-a-atteint-3-000-milliards-da-en-2018/>. Consulter le : 16/04/2020

Tableau 2: Evolution des superficies, de production et des rendements des légumes frais en Algérie (FAOSTAT, 2018)

Année	Superficie (ha)	Production (T)	Rendement (T/ha)
2008	27 454	303 000	11,0366
2009	29 203	350 523	12,0030
2010	34 243	460 692	13,4536
2011	39 258	535 884	13,6503
2012	37 735	559 763	14,8341
2013	41 493	656 542	15,8230
2014	44 010	980 652	22,2825
2015	49 664	931 536	18,7568
2016	56 962	1 093 006	19,1883
2017	56 892	1 142 304	20,0784
2018	54 718	1 121 458	20,4952

b. Les principales zones de production maraîchère

Jadis, la partie Nord du pays était considéré spécialiste en maraichage, surtout sous serres. Il s'agit des zones du littoral, sub-littoral et les plaines intérieures : Alger, Boumerdes, Blida, Jijel, Chlef, Mascara, Mostaganem, Skikda et Tlemcen, etc (Ghellaoui, 2016). Cependant, cette spéculation est actuellement pratiqué à travers tous le territoire algérien, notamment les zones désertiques qui sont devenue très compétitif pour les régions du nord du pays (Zenkri, 2017). En fonction de la production de l'année 2017, les wilayas pionnières recensés sont El-Oued (avec 16,13 millions de qx), Ain Defla (avec 15,1 millions de qx), Mostaganem (avec 9,1 millions de qx), Biskra (avec 8,53 millions de qx), Skikda (avec 5,51 millions de qx), Boumerdes (avec 4,9 millions de qx) et Tipaza (avec 4,4 millions de qx) (www.aps.dz⁴).

I.2.2.3. Dans la région de Biskra

Le transfert crédible de l'agriculture dans la région d'un bassin traditionnel phoenicicole vers un centre de développement idéal pour les cultures maraîchères, notamment les produits dites primeurs et extra primeurs et les fruitières n'est que le fruit du soutien de l'État au profit du développement de l'agriculture saharienne et steppique, et des investissements (Zenkri,

⁴ <http://www.aps.dz/economie/75536-culture-maraichere-une-production-nationale-de-plus-de-130-millions-de-quintaux-en-2017>

2017 ; Bessaoud, 2019). Finalement, les régions de Sud pionnières (Biskra, El-oued, Ouargla, et Adrar) sont en concurrence charnue pour alimenter le marché nationale par les différentes cultures, notamment les fruits et les légumes. Toutefois, environ 17% de la superficie irriguée en Algérie inclue les wilayas de Biskra et d'El-Oued au Sud-Est du pays, sachant que Biskra alimente le tiers du pays en les produits maraichers et l'El-Oued est par excellence est le premier bassin de production de pommes de terre (Bessaoud, 2019).

a. Evolution des superficies et de la production

A l'exception de l'année 2014 qui manque, les statistiques de la direction des services agricoles (DSA) montre qu'au cours des dix dernières années la superficie destinée au maraichage a passée de 10 212 ha en 2007 à 23 488 ha en 2018 (c.à.d. multiplié par 2,3 fois). En plus, la production a passée de 1 773 388 qx en 2007 contre 10 206 025 qx en 2018 (c.à.d. multiplié par 5,7 fois) (Figure 2). Ce développement exceptionnel a bien contribuer d'une part à enrichir le marché national par une production de primeurs et extra primeurs.

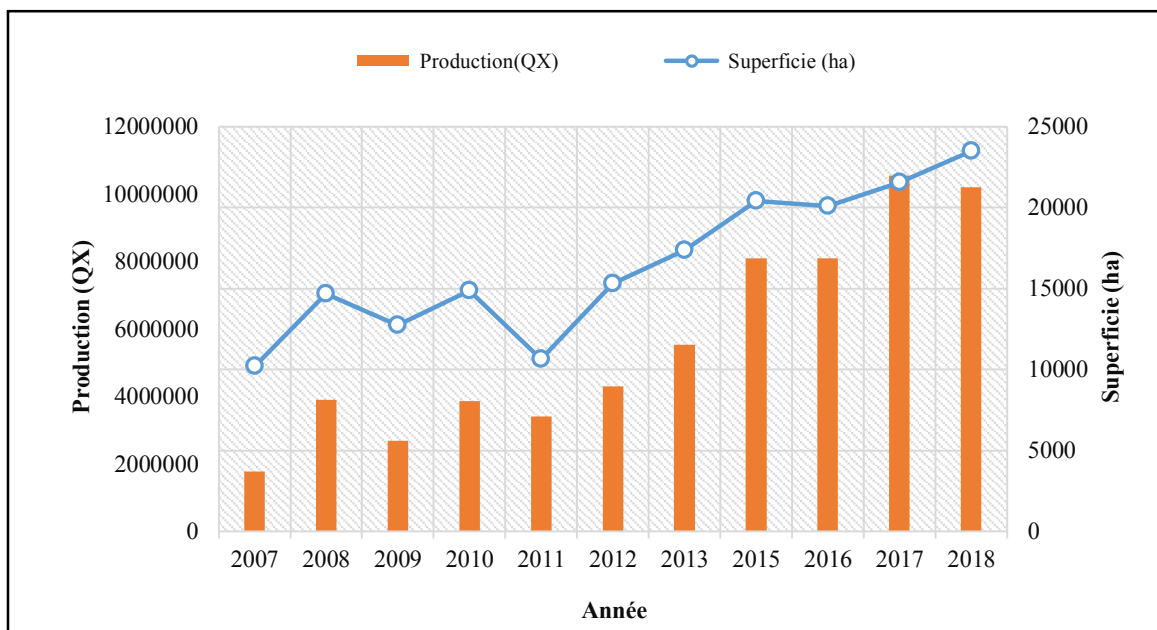


Figure 2: Evolution des superficies et de production du maraichage dans la wilaya de Biskra entre 2007 et 2018 (DSA, 2019)

b. Les principales zones de production maraîchère

Au niveau de la région de Biskra, le maraichage s'est installé dans les zones de Ziban-Est et le Ziban- Ouest. Cette spéculation s'est pratiquée sur de grandes superficies, et enregistre une production importante, par exemple au niveau du Ziban-Est, la daïra de Z'ribet El Oued (avec 4 301 567 qx sur 7 852 ha), et la daïra de Sidi Okba (avec 3 561 ha sur 1 922 363qx).

Alors qu'au niveau du Ziban-Ouest, la daïra d'Ouralel (avec une production totale de 1 405 129 qx), Tolga (avec une production totale de 1 339 795 qx), et Ouled Djellal (avec une production totale de 784 782 qx). Toutefois, par rapport à ces daïras, Sidi Khaled, ElOutaya, et Biskra, respectivement présentent de plus petites superficies et une faible production, comme illustre tableau 3.

Tableau 3 : Les cultures de plein champs et la plasticulture pratiqués dans les daïras de Biskra, en superficie et en production pour la campagne agricole 2017/2018 (DSA, 2018)

Dairas	Plein Champs		Plasticulture		Totale cultures maraîchères	
	Superficie (ha)	Production (qx)	Superficie (ha)	Production (qx)	Superficie (ha)	Production (qx)
Biskra	14	2140	105	151 637	119	153 777
ElOutaya	608	20 0312	72	77 735	680	278 047
Sidi Okba	2 164	38 7595	1 397	1 534 768	3 561	1 922 363
Z'ribet ElOued	5 196	2 041 452	2 656	2 260 115	7 852	4 301 567
Tolga	443	213 920	1 143	1 125 875	1 586	1 339 795
Ouled Djellal	916	215 449	549	569 333	1 465	784 782
Sidi Khaled	886	110 059	297	253 886	1 183	363 945
Ouralel	3 941	379 628	1 187	1 025 501	5 128	1 405 129
Totale	14 168	3 550 555	7 406	6 998 850	21 574	10 549 405

En fonction des surfaces cultivées et de la production atteinte (Tableau 4), les produits maraichers les plus cultivées sont classés en trois groupes (Figure 3). On note que la tomate, le poivron, le piment, la pomme de terre, l'oignon et l'ail sont constamment produites dans la région Biskra.

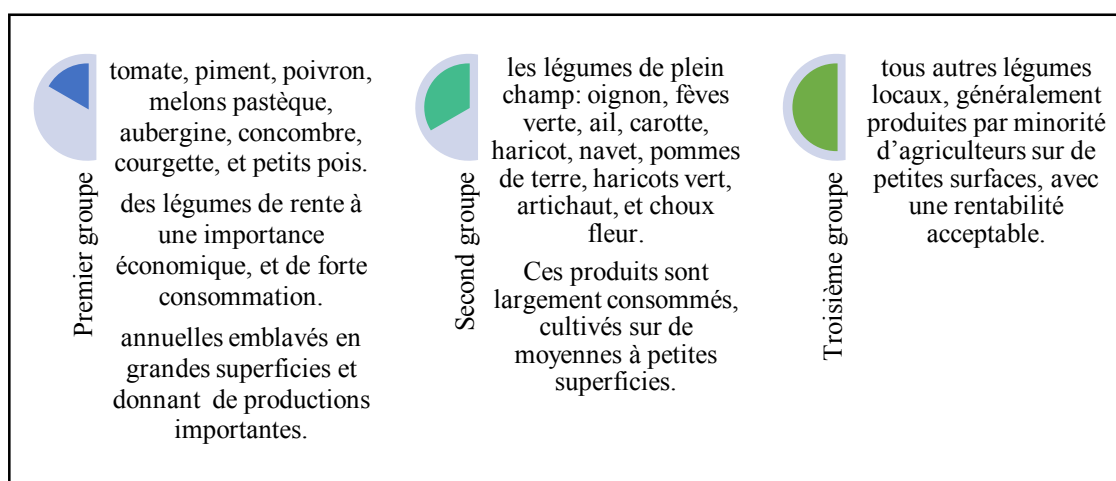


Figure 3 : Les principaux légumes produites dans la région Biskra, classé en groupes.

Tableau 4 : Les principaux produits maraichers (Y compris de primeur et sous serres) dans la wilaya de Biskra et évolution des superficies, de production, des rendements et les taux d'accroissement entre 2010 et 2015 (MADR, 2016).

Type de culture	2010			2015			Taux d'accroissement %		
	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)
Pommes de terre	35	7700	220	162	34320	212	363	346	-4
Tomate	1448	1398871	966	2189	3071910	1403	51	120	45
Oignon	1 376	171 341	125	2284	446230	195	66	160	57
Ail	765	68 200	89	750	71590	95	-2	5	7
Melons Pastèque	2 493	297 747	119	1241	515730	416	-50	73	248
Carotte	315	31 880	101	592	68025	115	88	113	14
Piment	1 114	507 595	456	1437	945146	658	29	86	44
Poivron	542	296304	547	842	609502	724	55	106	32
Concombre	282	88644	314	272	248440	913	-4	180	191
Courgette	595	142749	240	615	220884	359	3	55	50
Aubergine	224	59158	264	423	273095	645	89	362	144
Artichaut	4	260	65	3	310	103	-25	19	59
Choux fleur	-	-	-	1	100	100	-100	-100	-100
Navet	215	25 830	120	293	37500	128	36	45	7
Fèves verte	2 832	453 440	160	2340	277770	119	-17	-39	-26
Haricots vert	305	15 945	52	151	15200	101	-50	-5	93
Petits pois	1 149	68 372	60	1307	139800	107	14	104	80
Haricot	305	15945	52	388	49100	127	27	208	142
Autres légumes	1 186	232 036	196	5647	1196518	212	376	416	8

I.3. Facteurs favorisant l'utilisation des pesticides

Le surcroît des surfaces cultivées a permis de répondre aux besoins et aux demandes incessantes de la population, en particulier celles dédiées aux cultures de céréales et aux légumes.

Cependant, avec le changement climatique qui s'exerce sur toute le globe, plus précisément l'augmentation de la température et la perturbation des précipitations, la pression phytosanitaire est devenue sérieuse (Cilas et *al.*, 2015). D'où l'utilisation des produits phytosanitaires s'avère indispensable pour affaiblir les attaques des bioagresseurs (bioécologie) et leur distribution sur les cultures. A la sorte, annuellement le nombre des vendeurs et fabricants de pesticides s'accroît avec la demande sur ces intrants chimiques. Ce qui a créé une abondance de ces produits à des prix et des facilitations plus au moins acceptables pour l'agriculteur. Toutefois, l'utilisation de ces produits sur diverses cultures est considérée à la fois douteuse et inquiétante.

Chapitre II. Utilisation des produits phytosanitaires en agriculture

II.1. Intérêt d'usage des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires sont annuellement et largement appliqués, ce qui fait qu'ils sont devenus importants et inévitables dans l'équation agricole, notamment pour garantir la production (qualité et quantité) pour la population croissante. Autant, assurer une productivité de cultures croissante de 20 % à 50 % et atteindre à récolter jusqu'à trois fois par ans, ce qui aide sûrement à garder le prix raisonnable de ces produits agricoles sur le marché.

En outre, non seulement l'usage de ces produits permet de contrôler les espèces envahissantes et nuisibles, mais aussi servent pour sécuriser et protéger les produits stockés (semences et grains), ce qui permet d'empêcher d'énormes pertes après récolte contre les ravageurs, les maladies¹. Toutefois, partout dans le monde l'usage des PPPs est menaçant, surtout dans les pays en développement. Car, l'emploi de ces produits suscitent de nombreux préoccupations, surtout à cause de leurs toxicités et leurs impacts négatif confirmés sur l'homme et l'environnement (Cissé et *al.*, 2003).

II.2. Utilisation des produits phytosanitaires

II.2.1. Dans le monde

L'utilisation mondiale des pesticides (total) à des fins agricole entre 2007 et 2017 était annuellement en augmentation progressive, estimée à 3 746 991 tonnes en 2007 contre 4 113 591 tonnes en 2017 (FAOSTAT, 2017). Cette utilisation mondiale est passé de 1.5 kg/ha en 1990 à 2.57 kg/ha en 2016 (Montiel²⁰¹⁹), et estimé de 46% au cours de la période 1996-2016 (FAO, 2019). Donc, le surcroît de l'utilisation est en fonction de population croissante, c'est-à-dire répondre à la demande et assurer la sécurité alimentaire. Par ailleurs, l'Organisation de l'Alimentation et l'Agriculture des Nations Unies (FAO) estime que l'utilisation de pesticides (total) à des fins agricole en Asie (2 159 990 tonnes), en Amériques (1 328 006 tonnes), en Europe (476 138 tonnes), en Afrique (79 787 tonnes), en Océanie (69 669 tonnes), en Mélanésie (1 012 tonnes) et en Polynésie (155 tonnes) est importante (FAOSTAT, 2017²).

¹ <http://www.croplifeasia.org/wp-content/uploads/2013/02/EightBenefits-Pesticides.pdf>

² FAOSTAT (2020) consulté le 07/05/2020

Alors que, les dépenses mondiales de pesticides sont estimées de 48 milliards d'euros en 2018, et le grand marché du monde est dominé par l'Asie/Océanie avec 30%, et il comporte le chiffre d'affaires mondial de ventes de pesticides le plus important. Après, l'Amérique latine à 24%, l'Europe à 23% et les États-Unis, Canada et Mexique (NAFTA) à 20% (Gaudiaut, 2019).

A l'exception, les régions du Nord de l'Afrique, comme le cas du Sudan (la culture du Cotton), et celle dans le Sud de l'Afrique, comme le cas du Zimbabwe et Kenya (production du café et produits d'exportation) présentaient un usage intensif de pesticides.

Bien que, l'Afrique dispose des surfaces agricoles utiles immenses, sa consommation en matière de pesticides est considérée peu, avec moins de 4 % du chiffre d'affaire mondial (Socorro, 2015). Cela est en relation de plusieurs facteurs tels que la pauvreté, l'instabilité, les conditions climatiques, la sécheresse et les sols indifférents (Benaboud et *al.*, 2014 ; Socorro, 2015). Malheureusement, les données de l'FAOSTAT actualisées sur les catégories de pesticides mondialement et par régions les plus demandées ne sont pas disponibles.

II.2.2. En Algérie

En Algérie, des tonnes de pesticides sont annuellement épandues sur les terrains agricoles, et l'FAO a estimé 3 478 tonnes en 2007 contre 5 898 tonnes en 2017 (FAOSTAT, 2017), dont les produits fréquemment utilisés sont les fongicides et les bactéricides, les herbicides, les insecticides. À l'exception en 2010, les régulateurs de croissance ont marqués 197 tonnes, un pic en 2013 avec 6 380 tonnes et après une baisse jusqu'à 3 753 tonnes en 2017 (FAOSTAT, 2017).

Alors que, les fongicides et bactéricides sont les plus demandés soit 770 tonnes en 2007 contre soit 1577 tonnes en 2017, suivi par la catégorie des insecticides qui enregistrait plusieurs pics d'utilisation en 2007 (707 tonnes), en 2009 (497 tonnes) et en 2011 (460 tonnes).

Ces années ont été marqués par l'attaque intensive du ravageur *Tuta absoluta* sur la culture de tomate, ce qui a exigé l'emploi des insecticides, soit à 367 tonnes en 2017. Concernant les herbicides, la demande était faible, soit 201 tonnes en 2007 contre soit 286 tonnes en 2017 (Figure 4).

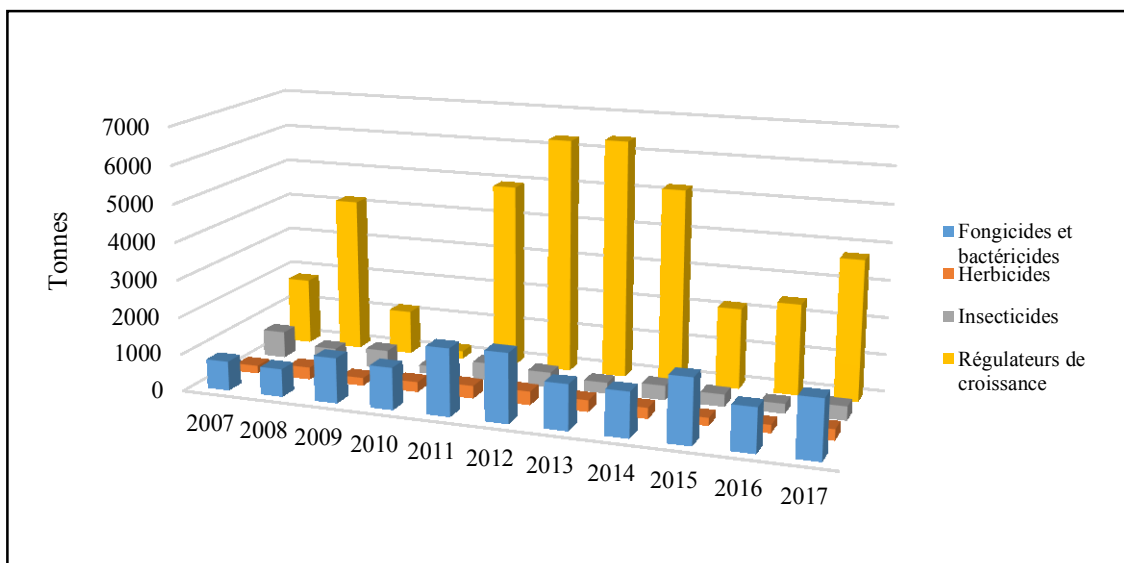


Figure 4 : Pesticides utilisés à des fins agricoles en Algérie par catégorie entre 2007-2017 (FAOSTAT, 2020).

II.2.3. Dans la région de Biskra

Les données du ministère de l’agriculture et du développement rural montrent que l’utilisation des produits phytosanitaires (liquides et solides) durant la période 2005-2014 est considéré irrégulière.

Les quantités totales déclarées de pesticides liquides consommés sont 12 916 litres en 2005 contre 11 385 litre en 2014 (Figure 5). En 2010, une forte utilisation d’insecticides soit 46 000 litre et des herbicides soit 10 000 litre a été enregistré, mais trois ans après les fongicides ont marqués une consommation de 11700 litre et les herbicides 10 000 litre (Figure 5).

À propos des quantités totales de pesticides solides, en 2005 la région de Biskra a estimé une consommation de 1 723 Kg à contre 13 257 Kg en 2014 (MADR, 2016). Tandis le recours aux pesticides solides s’y devenu intensif depuis en 2007 pour les différentes catégories, soient les insecticides (70 000 Kg), les herbicides (55 000 Kg), les fongicides (40 000 Kg), et en plus les nématicides (30 000 Kg) (MADR, 2016), comme illustre la figure 6.

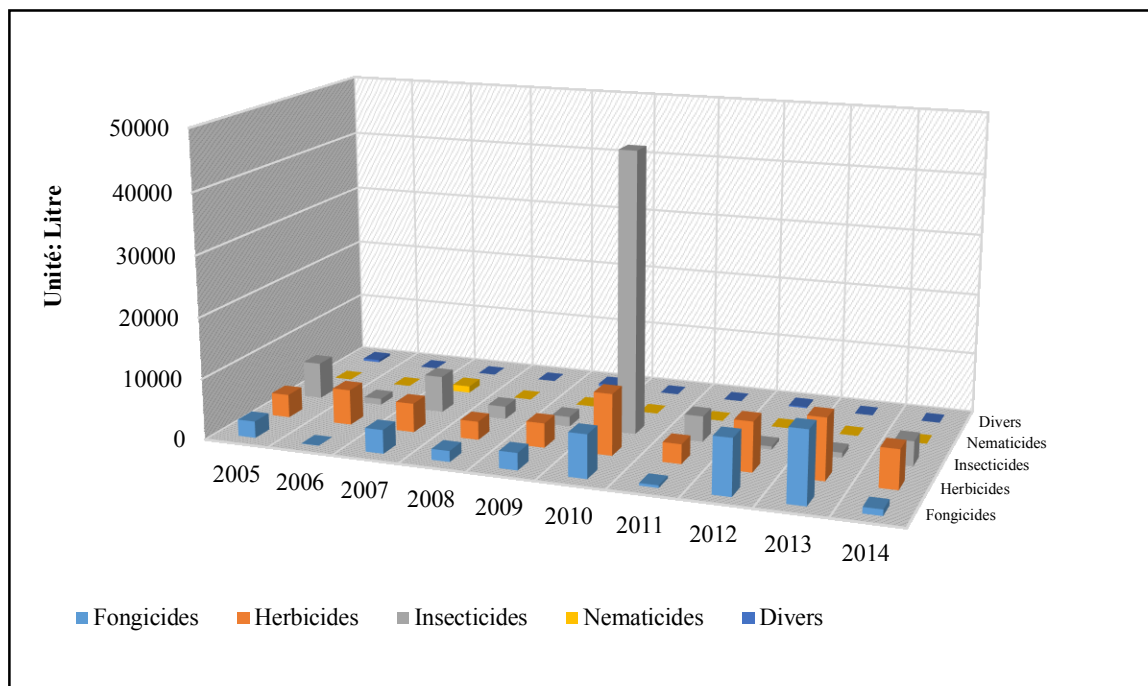


Figure 5 : Evolution d'utilisation des produits phytosanitaires liquides dans la région de Biskra entre 2005-2014 (MADR, 2016)

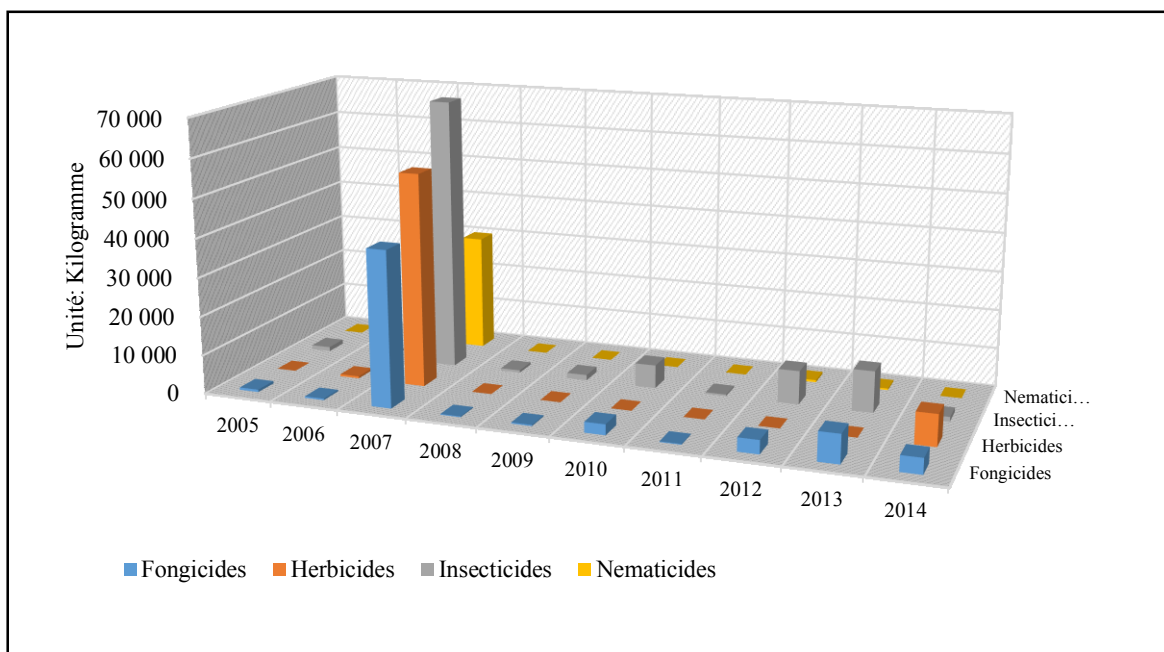


Figure 6 : Evolution d'utilisation des produits phytosanitaires solides dans la région de Biskra entre 2005-2014 (MADR, 2016)

II.3. Circuit d'approvisionnement

En Algérie, le ministère de l'Agriculture est chargé de gérer l'homologation et la délivrance de certificat autorisant l'usage des pesticides. Impérativement, avant d'être listés dans l'index phytosanitaire national des produits phytosanitaires et mise sur le marché national, ces produits importés doivent compléter d'abord toutes les étapes d'homologation, répondre aux normes de conformité (Index Phytosanitaire, 2015).

Souvent, l'agriculture moderne exige le recours aux pesticides plusieurs fois dans l'année, et à chaque stade de la production (avant et pendant la culture, après la récolte et pendant le stockage) (Lehmann, 2017 ; Son, 2018).

Les agents des sociétés des produits phytosanitaires, les distributeurs et les grossistes se chargent de la distribution de ces produits aux vendeurs qui les livrent directement aux agriculteurs. Tandis, pour les autres pays à faible revenu comme la Bolivie, les détaillants agréés sont responsables de la vente de pesticides importés aux agriculteurs (Haj-Younes *et al.*, 2015 ; Alam et Wolff, 2016). Au Burkina Faso, la distribution des pesticides se fait par trois canaux distincts soient les grossistes spécialisés, les magasins mixtes locaux et les marchés locaux (Lehmann, 2017), ou bien par le biais de quatre circuits qui sont : soit un seul circuit formel (auprès des distributeurs agréés), ou à 90 % les marchés locaux, ou les marchés extérieurs limitrophes (Ghana, Togo, Bénin, Côte d'Ivoire et Mali), ou entre producteurs (Son, 2018). Semblable, en Afrique centrale quatre types de canaux gèrent la distribution des pesticides qui sont : étatique et para-étatique, non étatique (sociétés de développement, projets), et privé (circuit commercial) et agriculteurs (Sougnabé *et al.*, 2010).

II.4. Cadre législatif et réglementaire

Tandis que, l'emploi abondant et régulièrement de pesticides dans le secteur agricole est à plus de 90% constaté partout dans le monde (Pflieger, 2009), la manière imprudente, intensive et non raisonnable augmente les risques et effets négatifs sur la santé humaine et sur l'environnement. Donc, la surveillance et l'encadrement des risques indésirables issus de l'usage de ces produits est indispensable.

Les produits phytosanitaires sont gouvernés par des dispositifs législatifs et réglementaires fixés par les autorités responsables d'admettre la commercialisation, le transport, le stockage et finalement l'usage sécurisé (Barriuso, 2004 ; Socorro, 2015). Autant, les lois et réglementations

aux niveaux international et national créés et mises en place visent à gérer, contrôler et sécuriser la santé publique et réduire les impacts environnementaux.

II.4.1. Règlements mondiale

Au cours des vingt-cinq dernières années, les préoccupations concernant les pesticides et leur gestion ont finalement conduit à l'élaboration de lois, des réglementions, conventions et le changement important dans les cadres juridiques internationaux et nationaux, parmi lesquels et les plus importantes sont synthétisés dans le tableau 5.

Alors qu'en 1980, l'OMS (l'Organisation internationale du travail (OIT)) et le PNUE (le Programme international sur la sécurité des substances chimiques), ont contribué à la création du premier programme de coopération inter-organisationnel dans le secteur chimique. Dans lequel l'OMS se charge de l'évaluation et la publication des documents concernant les produits chimiques (Martin, 2016). En 1995, un programme inter-organisations pour la gestion rationnelle des produits chimiques (IOMC) aux fins de la protection de la santé humaine et de l'environnement. Ce programme s'est établi par six organisations internationales qui sont : le PNUE, l'OIT, la FAO, l'OMS, l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel et l'OCDE (Martin, 2016).

Etude Bibliographique

Chapitre II. Utilisation des produits phytosanitaires en agriculture

Tableau 5 : Recueil des cadres juridiques internationaux concernant les produits phytosanitaires

Instrument juridique	La date d'entrée en vigueur	Objectifs	Références
Convention de Rotterdam (PIC)	24 Février 2004	<ul style="list-style-type: none"> - Régit principalement l'importation et l'exportation internationale de produits chimiques. - L'échange d'informations sur les produits chimiques dangereux (y compris les pesticides) listés dans l'annexe iii. - Annexe iii : comporte 39 composés chimiques et sujets à la procédure pic, soient 24 pesticides, 4 formulations de pesticides sévèrement dangereuses et 11 composés chimiques industriels (9). - Fin 2014, l'annexe iii énumère 47 substances, dont 29 pesticides interdits ou réglementés actifs et 4 préparations pesticides extrêmement dangereuses. - Les pays qui font parties de la convention sont les suivants : bosnie, herzégovine, croatie, chypre, france, grèce, israël, italie, liban, libye, Slovénie, Espagne, Syrie, Tunisie et Turquie. 	<ul style="list-style-type: none"> - http://www.fao.org/3/a-i5008e.pdf - http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/5225/11wg352_inf5_fre.pdf?sequence=2 - http://www.pic.int/home.php?type=t&id=49&sid=16
Convention de Stockholm	17 Mai 2004	<ul style="list-style-type: none"> - la protection de la santé humaine et de l'environnement. - l'élimination des polluants organiques persistants (POP). - Les POP tels que l'aldrine, la dieldrine, le chlordane, l'endrine, l'heptachlore, l'hexachlorobenzène, le mirex, le toxaphène, le DDT et les PCB. - L'article 3 de la convention s'articule sur trois annexes (A, B et C). - Les produits chimiques à éliminer (annexe A), les produits chimiques à restreindre (annexe B), les exemptions spécifiques production de certains involontaires et les produits chimiques à réduire (annexe C). 	<ul style="list-style-type: none"> - http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/5225/11wg352_inf5_fre.pdf?sequence=2 - http://documents.vsemirnyjbank.org/curated/ru/107381468303547492/pdf/E42550v20P1255000PUBLIC00Box379794B.pdf - http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf 16
Convention de Bâle	adoptée en 1989 et entrée en vigueur en 1992	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôler et réglementer les mouvements transfrontières de déchets dangereux et leur élimination. - La convention comporte huit annexes lesquels : Annexe I: des déchets cliniques aux déchets issus de la production, de la préparation et de l'utilisation de solvants organiques. Annexe II: déchets collectés auprès des ménages et résidus provenant de 	<ul style="list-style-type: none"> - http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/5225/11wg352_inf5_fre.pdf?sequence=2 - https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128043

Etude Bibliographique

Chapitre II. Utilisation des produits phytosanitaires en agriculture

		<p>l'incinération des déchets ménagers. Annexe III: Liste des caractéristiques de danger (matières explosives, des liquides ou solides inflammables, des matières susceptibles de s'échauffer spontanément, corrosives ou écotoxiques); Annexe IV: Liste des opérations d'élimination ; Annexe V A: Informations à fournir lors de la notification; Annexe V B: Informations à fournir dans le document de mouvement; Annexe VI: Arbitrage; Annexe VII: (non entrée en vigueur); Annexe VIII: Liste des déchets.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 53 signataires et 187 parties. - Les pays signataires sont obligés à établir des législations nationales et domestiques appropriées, et à interdire le commerce des déchets dangereux, et de types spécifiques de déchets dangereux (Importation –Exportation). - Punir le trafic illégal des déchets dangereux ou non dangereux et autres déchets. 	
Protocole d'Aarhus	23 octobre 2003	<ul style="list-style-type: none"> - Les polluants organiques persistants et la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance. - Les polluants considérés sont : Aldrine, Chlordane, DDT, Dieldrine, Endrine, Heptachlore, Mirex, Toxaphène, Hexachlorobenzène, Chlordécone et Lindane. - Les seize polluants visés par ce protocole sont les douze POPs de la Convention de Stockholm, ainsi que quatre autres molécules dont deux insecticides (Chlordécone et Lindane). - Contrôler et réduire les émissions dans l'environnement de ces substances et de leurs sous-produits pour une élimination définitive. - Interdire la production et l'utilisation ces polluants, spécialement en Europe, Amérique, et l'Asie centrale. 	<ul style="list-style-type: none"> - https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-protocole-aarhus-7603/ - (Pflieger, 2009)
Protocole de Montréal	signé en septembre 1987	<ul style="list-style-type: none"> - La réduction des substances qui appauvrissent la couche d'ozone en particulier le bromure de méthyle et la suppression de l'utilisation de CFC (chlorofluorocarbones), de halons et de tout autre ODC synthétique. - Un accord international signé par 24 pays et par la communauté économique européenne. 	<ul style="list-style-type: none"> - https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/protocole_de_montreal.php4

Etude Bibliographique

Chapitre II. Utilisation des produits phytosanitaires en agriculture

		<ul style="list-style-type: none">- La suppression de la production de bromure de méthyle à compter du janvier 2005 dans les pays industrialisés, et selon un calendrier plus rapide dans certains pays en développement.- La prohibition de la production et de la consommation de bromochlorométhane à compter du 1er janvier 2002, et un délai de grâce de 10 à 15 ans pour le cas des pays en développement.	
Convention n ° 184 de l'Organisation sur la sécurité et la santé dans l'agriculture (OIT)	2003	<ul style="list-style-type: none">- Lors du la conférence internationale sur la gestion des produits chimiques (ICCM) en 2006 à Dubai, aux Emirats Arabes Unis, avec 8 parties.- Une stratégie politique globale, élaborée dans le contexte de la Déclaration de Rio, d'Action 21 et du plan d'application de Johannesburg.- Les substances couvertes non spécifiées traitent de tous les aspects de la santé et de la sécurité des produits chimiques utilisés en agriculture.	<ul style="list-style-type: none">- (Vapnek, 2007)- http://www.saicm.org/Portals/12/documents/saicmtxts/SAICM-publication-FR.pdf.- http://pan-afrique.org/fr/Rapports/Etudes/MOCI.pdf

II.4.2. Réglementation algérienne

En Algérie, l'usage répété de pesticides est préoccupant. L'emploi intensif et fréquent entraînera nécessairement l'accumulation des résidus de ces produits dangereux à toxicité multiforme dans notre corps, et les milieux naturels, à long terme. Bien que, l'Algérie a toujours pensé à la protection de la santé humaine et de l'environnement. Plus particulièrement, en adhérant aux différentes conventions internationales (Convention de Rotterdam, Convention de Stockholm, etc.) et en adoptant les protocoles portant sur les produits chimiques et pesticides. Le cadre législatif et réglementaire national est considéré ancestral datant de l'année 1987.

Cependant la politique de développement adopté par l'État algérien et la disponibilité des moyens ont facilités la mise en œuvre de toutes les lois et décisions relatives aux pesticides et le contrôler leur utilisation. L'Algérie dispose d'un ensemble de textes juridiques définie par le pouvoir législatif « la loi » et le pouvoir exécutif « la réglementation », c'est-à-dire tous les décrets et arrêtés réglementaires, règlements, et ordre ministériel fixant les mesures relatives à la fabrication, l'étiquetage, l'entreposage, la distribution, la commercialisation et l'utilisation des produits phytosanitaires à usage agricole, comme expose Tableau 6.

Contrairement à la réglementation tunisienne des pesticides qui est jugé très pauvre avec un seul texte « le décret n° 2002-3469 » portant sur les conditions d'obtention d'homologation et l'autorisation de vente de pesticides, et certains réglementations ancienne visant à la protection de l'homme et de l'environnement comme : la qualité de l'air ambiant « NT 106 ; 004 (1994) », les polluants industrielles « NT 106 ; 005 (1995) » et la norme de rejets industriels dans les eaux « NT 106 ; 02 (1989) » (Amara, 2012).

Tableau 6 : Références aux instruments juridiques existants qui traitent de la gestion des produits chimiques ³

Type d'instrument juridique	Référence et année	Objectifs de la législation
Loi	n° 87-17 du 01/08/87	- Relative à la protection phytosanitaire. - les mesures relatives à la fabrication, l'étiquetage, l'entreposage, la distribution, la commercialisation et l'utilisation des produits phytosanitaires à usage agricole. - La création de la commission des produits phytosanitaires à usage agricole par les dispositions de l'article 37.
	n° 03-10 du 19/07/2003	- Porte dans l'article 69, sur la protection de l'homme et de son environnement contre les risques qui peuvent résulter des substances chimiques.
Décret présidentiel	n° 90-423 du 22/12/1990	- Portant sur la ratification de la convention entre les pays de l'Union du Maghreb Arabe (UMA) relative au domaine phytosanitaire signé à Alger le 23Juillet 1990.
Décret exécutif	n° 95-405 du 02/12/95	- Relatif au contrôle des produits phytosanitaires à usage agricole (Homologation Utilisation Importation).
	n° 99-156 du 20/07/99	- Modifiant et complétant le Décret exécutif n° 95-405 du 02/12/95
	n° 10-69 du 31 janvier 2010	- Fixant les mesures applicables lors de l'importation et l'exportation des produits phytosanitaires à usage agricole.
Arrêté ministériels	du 6/10/1996	- Fixant les membres de la commission des produits phytosanitaires à usages agricole
	du 13 mars 2000	- Définition de l'étiquetage d'emballage des produits phytosanitaires à usage agricole.
	Du 27 mai 2009	- Fixant la liste nominative des membres du comité national du codex alimentarius.
	du 16/02/2010 modifiant l'arrêté du 3/12/2007	- Portant désignation des membres de la commission des produits phytosanitaires à usage agricole.
	du 22/03/2010 modifiant l'arrêté du 27/05/2009	- Fixant la liste nominative des membres du comité national du codex alimentarius.
	du 11/01/2011	- Portant désignation des membres de la commission des produits phytosanitaires à usage agricole (à renouveler tous les 3 ans).

En vertu de la loi du 1987, on trouve que :

³ [https://open.unido.org/api/documents/13360741/download/PNM%20algerie%20%20final%20\(3\).pdf](https://open.unido.org/api/documents/13360741/download/PNM%20algerie%20%20final%20(3).pdf)

- Aucun produit phytosanitaire ne peut être commercialisé, importé ou fabriqué s'il n'a pas fait l'objet d'une homologation.
- Art. 35 et 37.- La commission des produits phytosanitaires à usage agricole comprend neuf membres de différentes ministères, qui sont désignés pour une période de trois (3) années, renouvelable par arrêté du ministre chargé de l'agriculture sur proposition des autorités dont ils relèvent.
- Art. 38. - La commission des produits phytosanitaires à usage agricole est assistée de deux (2) comités : le comité d'étude de la toxicité et le comité d'évaluation biologique.
- Art. 42.- Les personnes physiques ou morales se livrant à la fabrication, la commercialisation ou à l'utilisation de produits phytosanitaires à usage agricole sont tenues dans un délai d'un (1) an de se conformer aux dispositions de la loi.
- Art. 43. - Le ministre chargé de l'agriculture est habilité à tout moment, de suspendre ou retirer l'autorisation ou l'agrément si les bénéficiaires n'ont pas respecté les dispositions législatives et réglementaires en vigueur.
- Art. 44. - Sans préjudice des autres dispositions législatives et réglementaires en la matière tout fabricant, importateur, distributeur, vendeur, ou intervenant qui contrevient aux dispositions du présent décret, est puni des sanctions prévues aux articles 429, 430 et 431 du code pénal.

Chapitre III. Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires

III.1. Généralités

L'industrie des produits phytosanitaires a développé d'une façon prodigieuse dans le monde entier. Chaque année, de nouvelles substances actives sont produites et commercialisées, ce qui augmente beaucoup leurs nombres, ainsi que les inquiétudes envers ces produits chimiques fortement utilisés (Amiard, 2011). Car, ces produits sont devenus une réalité et une exigence inévitable dans divers domaines agricole, domestique et industriel.

Notamment en agriculture, où elles servent à assurer une production quantitativement satisfaisante et qualitativement saine pour la consommation humaine. Toutefois, on ne peut pas sous-estimer le caractère dangereux des substances actives (Amiard, 2011) et leur risque potentiel sur la santé humaine et l'environnement, surtout lors d'usage intensif, inapproprié et imprudent.

III.2. Toxicité des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires sont des composés toxiques, ayant la capacité d'engendrer de complications et des effets néfastes dans les différents niveaux trophiques, c'est-à-dire l'environnement, les espèces naturelles et y compris l'homme (Lapointe, 2004).

III.2.1. Ecotoxicité

Lors de traitement des cultures par les produits phytosanitaires, le transport des polluants de la plante via diverses voies est facilement garanti (Ndao, 2008 ; Zacharia, 2011). Seulement, environ 0,1% des pesticides atteignent les organismes cibles et le reste contamine le milieu environnant (Carriger et al., 2006). Subséquemment, en présence de ces produits, et à long terme, même qu'à faibles doses les effets indésirables sur les milieux naturels, les organismes non ciblés et la biodiversité (espèces pollinisatrices, auxiliaires biologiques, microflore et microfaune des sols, etc.) (Ndao, 2008) seront détectables.

Un déséquilibre dans les écosystèmes et même une contamination de l'environnement s'installent par le biais des types persistants et non biodégradables (Ndao, 2008 ; Mostafalou and Abdollahi, 2012).

Les effets écologiques négatifs peuvent être de courte durée et influencer sur le fonctionnement normal de l'écosystème, ou à long terme ce qui cause des changements. Les

Etude Bibliographique

Chapitre III. Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires

contaminants environnementaux sont nombreux, mais les pesticides sont les plus toxiques, sans restreint leur ampleur de nuisibilité s'étale à toutes les formes de vie autres que les espèces nuisibles ciblées (Zacharia, 2011 ; Kaur et al, 2014).

III.2.1.1. Pollution des sols

La rétention des pesticides par le sol et leur dégradation est contrôlée par plusieurs paramètres. Il s'agit des paramètres intrinsèques du sol (texture, pH et teneur en matière organique MO), les propriétés de la substance active, et ainsi les pratiques culturales réalisées (historique de traitement, travail du sol, gestion des résidus de récolte, apport de MO et des engrais).

La dispersion des molécules de pesticides dans l'atmosphère, lors des applications sont à l'origine de la contamination des eaux de pluies. Alors qu'à long terme le sol peut être une source de re-contamination lorsque l'érosion entraîne la dissémination dans l'air ou l'eau des produits infiltrés¹.

De nombreux produits phytosanitaires appliqués sont des contaminants persistants, et peuvent réduire la fertilité du sol. Par exemple l'usage des herbicides nuit à la richesse du sol et engendre de multiples effets citant :

- La réduction du couvert végétale, ce qui favorise l'érosion des sols par ruissellement et vent.
- L'érosion du sol déforme la structure du sol et crée le déséquilibre des sols, c'est à dire de point de vue écologique, une terre nue ne peut pas supporter la croissance des plantes dessus.

Autant, l'application répétée de pesticides sur les parcelles agricoles peut conduire à l'adaptation de la microflore du sol responsable de la dégradation ces molécules toxiques².

III.2.1.2. Pollution des eaux

La pollution des eaux par les pesticides s'exerce soit par des pollutions ponctuelles (la vidange d'un fond de cuve, un rinçage vers un point d'eau), ou par pollutions diffuses (drainage, ruissellement ou dérive vers le ruisseau bordant les parcelles). Ces produits une fois transférés dans le réseau hydrographique provoquent la pollution et la contamination

¹ <https://ecophytopic.fr/concevoir-son-systeme/risques-de-contamination-des-compartiments-de-lenvironnement>

² https://ecophytopic.fr/sites/default/files/upload-documents-entity-import-csv/n%25C2%25B0%252017%2520Effet%2520non%2520intentionnel%2520vf_0.pdf

des écosystèmes terrestre et aquatique, à la suite la toxicité des populations (Ndao, 2008). Sur le plan réglementaire, seules les eaux de surface ou souterraines font l'objet de contrôle de la présence de pesticides avec des normes de qualité (0.1 ug/l par substance active et 0.5 ug/l au total) et de seuil sans effets sur les organismes aquatiques pour les eaux de surface⁵.

III.2.1.3. Pollution de l'atmosphère

La pollution de l'atmosphère par les molécules de pesticides à différents niveaux de concentration, pulvérisés sur les zones agricoles, ou utilisés pour des fins non agricole est un sujet d'actualité et de recherche approfondie. Par exemple la toxicité des pesticides est reconnue, mais dans l'air les effets sont encore mal connus (Gil, 2007) et les teneurs en pesticides dans l'air ambiant ne sont pas actuellement normés ou réglementés.

III.2.1.4. Effets des pesticides sur la biodiversité

a) Effets sur les organismes visés

Beaucoup de ravageurs sont visés par pesticides, mais l'utilisation continue et imprudente du même type de substances actives conduit souvent à tuer les organismes non nuisibles ou bénéfiques pour l'écosystème. Comme, l'emploi excessif, loin des doses recommandées conduit au même résultat. En plus à une résistance des ravageurs suite à l'adaptation aux nouvelles conditions environnantes, ou à une mutation génétique, modification des taux de croissance démographique, augmentation du nombre de générations, et etc. (Kaur et al, 2014).

b) Effets sur les pollinisateurs

Les insectes pollinisateurs naturels sont des bio-indicateurs de pollution de l'environnement. Cependant, les abeilles domestiques sont des victimes aux pesticides, lors du traitement phytosanitaire (par contact), sur les cultures (par consommation du nectar contaminé au fond des corolles, de l'eau ou du miellat de pucerons pollués). Les résidus d'insecticides déposés sur les plantes via une action directe ou indirecte contaminent la nourriture des insectes mellifères (pollen et nectar), les herbicides peuvent causer la raréfaction de leurs nourritures, et une combinaison de certains groupes de fongicides avec des insecticides (peu dangereux) produire des troubles imprévus (Tasei, 1996 ; Zacharia, 2011).

La perte de ruches d'abeilles domestiques et de pollinisateurs sauvages par intoxication peut atteindre plus de 20% (Pimentel *al.*, 1991), et en fonction de la matière active, les effets

d'intoxication des mellifères se différencie et allant jusqu'à l'extinction totale de la population après quelques heures et durant 2 à 4 jours. Tandis que, le symptôme typique d'empoisonnement c'est le dépeuplement rapide des nids suite à la mort des adultes ou des larves, et l'inhibition de la formation du tégument suite à la perturbation du régulateur de croissance des larves (Tasei, 1996).

c) Effets sur les oiseaux

L'alimentation est la principale voie d'exposition de ces espèces, et les effets nocifs des PPPs même à des doses sublétales sur la plupart des oiseaux peuvent être graves. Par exemples, nuire à la reproduction aviaire, diminution des pontes et fragilisation des coquilles des oeufs (Ramade 2005 in Ayadi Haji, 2012). En plus, atteindre de symptômes chroniques sur leur comportement, et perturber leur système nerveux, ainsi que la perte de poids, la prédation, la diminution de la résistance aux maladies (Zacharia, 2011 ; Ayadi Haji, 2012).

d) Effets sur les poissons et autres organismes aquatiques

Les systèmes aquatiques et les sources de nourriture des poissons sont menacés par les produits toxiques résultant de la pollution agricole, des cours d'eau par chute, du drainage ou du ruissellement et de l'érosion due aux rejets d'effluents industriels, (Deepa et *al.*, 2011; Zakaria, 2011). En général, les pesticides sont extrêmement nocifs pour les organismes aquatiques (poissons, daphnies, algues et plantes aquatiques) et entraînent de lourdes pertes dans la production mondiale de poissons.

Les effets létaux et sub-létaux sont les effets d'interférence olfactive, perturbation des activités enzymatiques, diminution significative de la mobilité de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) après cinq jours d'exposition à un mélange d'atrazine, linuron et métolachlore (Gandar, 2015). La mort massive des poissons est généralement l'effet aigu de ces produits, par exemple, de fortes concentrations de glyphosate, métribuzine et l'alachlore produisent des hépatotoxiques et des changements histopathologiques des branchies des poissons (Gandar, 2015). L'endosulfan inhibe l'activité de l'acétylcholinestérase pour les poissons et pose aussi de problèmes de comportement, neurologiques, génotoxiques, mutageniques, stress oxydatives et endocriniennes (Rehman et *al.*, 2016). Des changements dans les comportements de nage et les habitudes de regroupement chez le poisson zèbre (*Brachydanio rerio*) (Ayadi Haji, 2012).

Etude Bibliographique

Chapitre III. Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires

Les amphibiens sont aussi plus sensibles aux stress environnementaux issu des pesticides dans l'eau ; le taux de malformation peut atteindre 12 % dans les zones agricoles, par exemple l'atrazine, diminue la réponse du système immunitaire des grenouilles contre les infections parasitaires (Lalancette, 2012), ainsi l'occurrence du féminisme des grenouilles (Meienberg et *al.*, 2012).

e) Effets sur les organismes non visés

Les effets néfastes des pesticides sur la faune non-cible étant très nombreuses, citant par exemple, l'utilisation des pesticides contre le Criquet pèlerin impact aussi les insectes dites indicateurs biologiques comme les fourmis, l'effet nocif sur ces derniers peut être visible 12 jours après les traitements et le taux de réduction de leur population qui dépasse les 98% (Abdou et Ahmed, 2015). Outre, le déclin d'un grand nombre de taxons du vers de terre engendré à une pollution des terres par pesticides (Ayadi Haji, 2012).

III.2.2. Toxicité pour la santé humaine

Les bénéfices des pesticides n'ont pas empêché que ces produits incluent des risques multiples à effets plus ou moins nocifs pour la santé humaine allant de l'intoxication suivant une exposition accidentelle jusqu'à la mort (Igbedioh, 1991 ; Ayadi Haji, 2012 ; Son, 2018).

En fonction des propriétés spécifiques des substances actives, l'absorption, la fréquence d'utilisation, durée et l'ampleur de l'exposition, il se trouve que plusieurs formes d'intoxication sont susceptibles à se produire (Tableau7) (EPA, 1996 ; Zacharia, 2011). Alors que, en fonction de la durée et la répétition de l'exposition d'un organisme à un pesticide, plusieurs types de toxicité peuvent s'engendrer (Tableau8) (Igbedioh, 1991).

Etude Bibliographique

Chapitre III. Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires

Tableau 7 : Classification des différentes formes d'intoxication en fonction de l'exposition (Agence de protection environnementale, 1996)

Formes d'intoxication	Fréquences d'utilisation	Durée de l'exposition
Aiguë	Unique (immédiat)	< 24 heures (scénarios d'exposition d'une journée)
Subaiguë	Répétée (court terme)	< 1 mois (scénarios d'exposition de 1 à 30 jours)
Subchronique	Répétée (moyen terme)	De 1 à 3 mois (scénarios d'exposition de 30 à 180 jours)
Chronique	Répétée (long terme)	> 3-6 mois
Cancérigène	Répétée (très long terme)	Exposition durant toute la vie

Tableau 8 : Types de toxicité en fonction du nombre de fois et la durée d'exposition (Igbedioh, 1991)

Types de toxicité	Fréquences d'exposition à un pesticide	Durée d'apparition des symptômes toxiques
Aiguë	une seule fois (courte durée)	après une heure
Subchronique	à quelques reprises	après environ 1 semaine
Chronique	plusieurs fois	après 1 an.
Retardée	une ou plusieurs fois	après plusieurs années

Toutefois, il se trouve que la toxicité aiguë et la toxicité chronique sont les plus répandues :

III.2.2.1. Toxicité aiguë

Implique des effets nocifs dans un organisme par le biais d'une exposition unique ou à court terme, et généralement les médecins connaissent les effets malaises causés par les pesticides (Debbab, 2014). L'évaluation de la toxicité aiguë fait appel à une étude qualitative et quantitative (Branchet, 2018) il s'agit des études épidémiologiques (avec plusieurs groupes d'individus), expérimentales in vivo (avec des animaux), expérimentales in vitro (cultures de tissus ou des cellules) et théoriques (par modélisation).

III.2.2.2. Toxicité chronique

C'est lorsque certains effets néfastes prennent une durée plus longue avant d'y apparaître, par exemple : fonctionnelles et/ou morphologiques ; mais généralement la survenue de ces effets suit les conditions d'apparition favorable, les doses et l'application répétée d'une substance toxique ou parfois de plusieurs toxiques combinées (Mairif, 2015 ; Branchet, 2018).

L'évaluation de ce type de toxicité se fait par expérimentation sur des animaux de laboratoire (Neumeister, 2017), en plus nécessite divers aspects de la toxicologie, pour étudier l'immunité, la cancérogénicité, la neurotoxicité et l'effet sur la reproduction (trouble de la fertilité et effets tératogènes), etc (Batsch, 2011 ; Mairif, 2015 ; Bensakhria, 2018).

III.3. Exposition aux produits phytosanitaires

La plupart des substances toxiques peuvent pénétrer facilement dans le corps humain par différentes voies et réussissent à engendrer des effets néfastes et indésirables. Souvent, ces effets présentent une réponse de l'organisme à une exposition, à un toxique, qui a été déjà pénétré et absorbé en quantité suffisante pour bouleverser le fonctionnement normale (Lapointe, 2004).

III.3.1. Voies d'exposition

L'exposition de l'homme aux pesticides peut être directe ou indirecte (Tadeo *et al.*, 2019), c'est-à-dire :

- a) *Exposition directe ou primaire* : qui se manifeste directement généralement lors d'une manipulation et une application de pesticides pour des fins agricoles ou non agricoles.
- b) *Exposition indirecte ou dite secondaire* : est principalement issue par l'environnement ou aussi dite exposition maximale si issue d'une consommation de la nourriture (Ayadi Haji, 2012).

Cependant, la toxicité intrinsèque des substances ou des métabolites pertinents de pesticides peut augmenter l'exposition (Ayadi Haji, 2012), cette dernière s'exécute par de nombreuses voies, mais d'après Deepa *et al.* (2011) et Son (2018), les principales voies de pénétration sont :

- La voie digestive (une ingestion volontaire ou accidentelle des aliments et de l'eau contaminés).
- La voie respiratoire (la respiration des gaz, des vapeurs de liquides volatils et l'inhalation par des aérosols).
- La voie cutanée (un contact direct avec la peau, les mains et les pieds par la substance toxique).
- La voie oculaire (le produit affecte directement les yeux).

III.3.2. Types d'exposition

Globalement, le nombre des incidences d'empoisonnement et d'intoxication par le biais des produits phytosanitaires (que ce soient aiguë et/ou chronique) est fortement élevé et enregistré dans le secteur agricole (Debbab, 2014).

Parce que, les agriculteurs sont les plus en contact avec ces produits, et sont cernés par leur connaissance et perception du risque. A la suite, on peut distinguer trois types d'exposition qui sont :

a) Exposition non professionnelle

La drifte de pesticides épandus dans l'air hors la zone d'application augmente le danger d'exposition des gens qui ne travaillent pas dans les champs et vivent à proximité des vergers et/ou des zones d'épandage de pesticides. Encore, les familles dont le conjoint travaille dans l'agriculture et transporte les vêtements, les chaussures polluées à la maison sont exposés aux risques de ces produits (Deziel et *al.*, 2015). Tous les gens de différentes tranches d'âge sont exposés soit directement ou indirectement, c'est-à-dire que nul n'est à l'abri aux risques de pesticides, la femme l'enceinte en particulier risque d'avoir une fausse couche ou même des malformations congénitales du fœtus. Comme, ces produits peut être aussi utilisés à des fins domiciles non agricole, leur présence dans la maison est généralement menaçant, beaucoup plus pour les enfants que pour les adultes (Samuel et St-Laurent, 2001).

b) Exposition professionnelle

La cause principale d'une exposition professionnelle c'est le manque de respect de mesures de sécurité et surtout la protection individuelle (Agnandji, 2018). En plus, elle s'exerce beaucoup à la suite d'une application répétée de différents pesticides soit pendant des journées successives ou même un seul jour (Agnandji, 2018). Cela, concerne toute personnes qui travaillent et manipulent les produits phytosanitaires : les agriculteurs, y compris saisonniers, applicateurs et vendeurs de pesticides.

c) Exposition par alimentation

Bien évidemment, après toute application de pesticides sur des cultures, une partie de ces produits pulvérisés se volatilise dans l'air, se colle sur les produits agricoles, alors que l'autre partie qui atteint le sol se pénètre puis se ruissèle avec les eaux souterraines pour se retrouver finalement dans l'eau potable (Deziel et *al.*, 2015; Agnandji, 2018).

Plusieurs recherches scientifiques ont démontré la contamination des fruits et légumes traités par les pesticides suite à la présence des résidus on dessus (Ayadi Haji, 2012 ; Deziel et al., 2015 ; Toumi et al., 2017a). Ces aliments et nourritures contaminés exposent la santé humaine, et souvent de petits résidus sont suspectés d'être cancérigènes ou de perturber les activités endocriniennes (Deepa et al., 2011). Il se trouve que, plus de 70% de résidus de pesticides indésirables sont présent dans notre alimentation (Meienberg et al., 2012). Comme expose la figure 7, allant du plus au moins contaminés, les quantités des résidus de pesticides en pourcentage pour certains légumes entre 84,6 et 1,9 % et pour certains fruits entre 89 et 23,1 % ; il paraît que les données sont assez élevées pour mettre la santé du consommateur en danger (Meienberg et al., 2012).

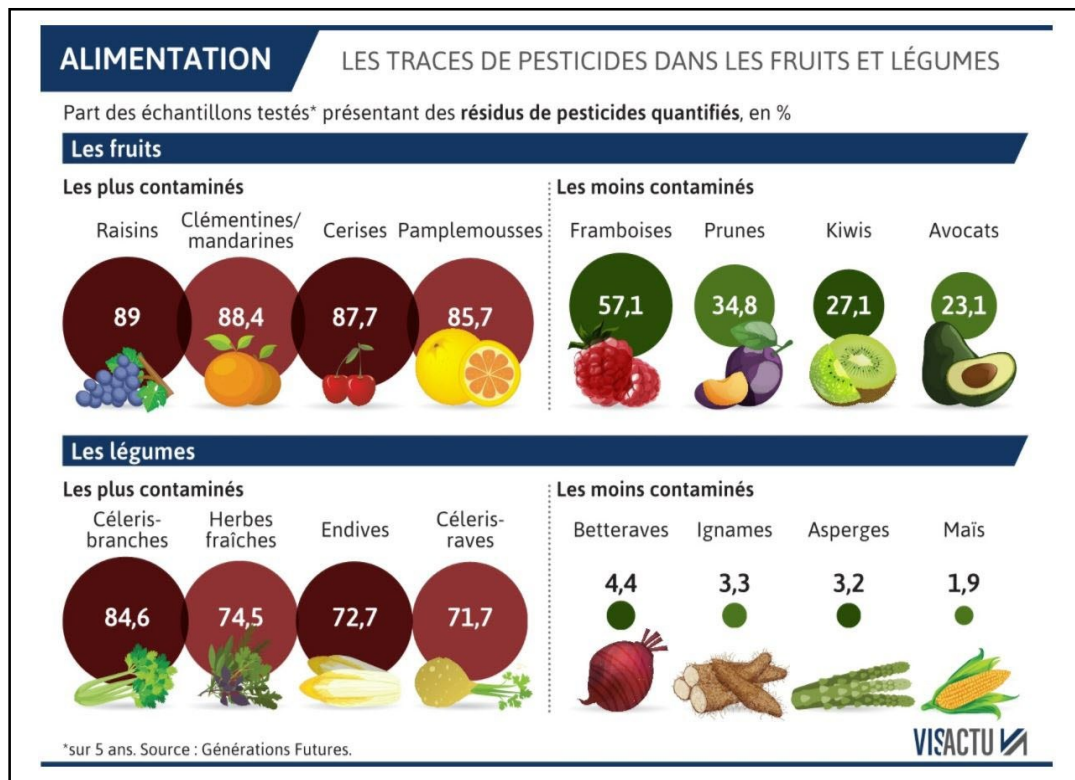


Figure 7 : Certains légumes et fruits les plus et les moins contaminés par les pesticides (Source : <https://www.ledauphine.com/economie-et-finance/2018/02/20/faut-il-craindre-les-pesticides-dans-nos-assiettes>).

III.4. Les répercussions sanitaires négatives liées aux produits phytosanitaires suivant l'usage et/ou l'exposition

Evidemment, les molécules de pesticides par n'importe quelles routes d'exposition, directement ou indirectement, peuvent pénétrer dans le corps humain et causer de sérieux problèmes dont la gravité de celles-ci diffère en fonction de la dangerosité de la substance appliquée, la durée et l'importance de l'exposition (Tableau9).

En 2011, la France estimait 3777 cas de leucémie aiguë, soit 1% de tous les cas de cancer présents, et 1 839 cas (dont 50 % chez l'homme), le lymphome de Hodgkin soit 0,5 % de l'ensemble des cas (Baldi et *al.*, 2013).

Lors d'une étude rétrospective du Centre Antipoison et de Pharmacovigilance du Maroc (CAPM) sur les cas d'intoxication par les pesticides entre janvier 2008 et décembre 2014, il en résulte 4 110 cas d'intoxications accidentelles aiguës et 47 cas de décès avec une létalité de 1,2 %, provenaient de toutes les régions du Maroc (Detsouli et *al.*, 2017).

Dans le monde, il se trouve que quelque 150 pesticides sont utilisés en grande quantité, polluent les rivières et les eaux souterraines se retrouvent dans notre alimentation et perturbent le système hormonal, la reproduction, etc. Au début des années 1990, l'OMS estimait un million de personnes intoxiquées non intentionnellement et hospitalisées, et 20 000 de décès liés aux pesticides par année dont 99% dans les pays en développement (Meienberg et *al.*, 2012). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) déclare chaque année trois millions de cas d'empoisonnement sont enregistrés, dont 99 % sont issus des pays à revenu faible ou intermédiaire, 10 % de ces cas sont mortels des suicides par ingestion (Desbois, 2017).

Etude Bibliographique

Chapitre III. Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires

Tableau 9 : Synthèse de répercussions négatives possibles sur la santé humaine et issues de l'application des produits phytosanitaires

Nature de l'impact	Répercussions négatives et références	Références cités par les auteurs
Troubles de la reproduction et du développement	- A long terme des dérèglements des systèmes de reproduction.	Ayadi Haji, 2012
	- Le dibromochloropropane, le 2,4-D, le carbaryl et le chlordécone diminuent la fertilité masculine.	Petrelli et Mantovani, 2002 ; Van der Werf, 1997.
	- Réduction du nombre de spermatozoïdes.	Zacharia, 2011
	- des perturbations des systèmes endocriniens. - Endommager des systèmes immunitaires.	Van der Werf, 1997 ; Toumi et al., 2016a.
Effet sur la grossesse et le développement du fœtus	- un retard de croissance intra-utérin suite à une exposition aux organophosphatés à la naissance. - La mort fœtale, prématurité, hypotrophie, malformations congénitales	Baldi 1998 ; Janssens 2002 ; Toumi et al., 2016a
Troubles neurologiques	- Les carbamates, les organochlorés, les pyréthroïdes et les organophosphorés présentent des effets nocifs et avérés sur les systèmes nerveux chez un nombre des mammifères. - des troubles nerveux, le coma ou la mort.	Costa et al., 2008 ; Toumi et al., 2016a.
	- La dépression, le suicide et autres neurodégénératifs comme la maladie de Parkinson. - La maladie d'Alzheimer.	Tanner, 2009; Sarwar, 2015
Hématotoxicité	- l'apparition de lymphomes malins, myélomes, leucémies.	Provost et al., 2007
Hépatotoxicité et Néphrotoxicité	- le Diazinon est capable de causer des dommages hépatocellulaire et rénales, augmentation d'ALT, AST, créatinine et l'urée du sang. - L'endommagement du foie, l'élévation des taux sanguins en transaminases (ASAT et ALAT, PAL).	Djeffal, 2014 ; Sarhan et Al-Sahhaf, 2011
Toxicité aigus	- Les irritations et les lésions des nerfs, de la peau et des yeux, les maux de tête, - les étourdissements, les nausées, la fatigue et l'empoisonnement systémique mais des fois mortelles.	Batsch, 2011 ; Sarwar, 2015
Effets cancérogènes	- Lymphomes non hodgkinien, des tumeurs cérébrales, des cancers hormonales ; des cancers de la prostate et de l'ovaire, du poumon et des mélanomes.	Van der Werf, 1997 ; Sarwar, 2015
Hormonales	- Déséquilibres hormonaux, l'infertilité et les douleurs au niveau des mammaires.	Sarwar, 2015; Yadav, 2017

III.5. Facteurs agissant sur la toxicité et l'efficacité d'un pesticide

Certes, l'emploi intensif et incorrect des pesticides génère des risques pour l'homme (agriculteur, applicateur et consommateur) et sur son environnement, il se trouve que plusieurs facteurs peuvent influencer la toxicité de ces produits et même à changer l'exposition ; parmi lesquelles on compte :

a. Paramètres liés aux pesticides

L'efficacité d'un pesticide dépend de la nature de ses composantes, ses propriétés physico-chimiques, la concentration et la dose conçue pour exterminer le ravageur ou l'agent de maladie. Autant, chaque substance active se caractérise par un degré d'absorption, une modalité d'exposition et une aptitude à s'accumuler dans l'organisme, ainsi un usage inapproprié de ces produits résulte des effets indésirables, dommages potentiels (Boland et *al.*, 2004 ; Ndao, 2008 ; Son, 2018). Donc, il est impératif de prendre en considération les caractéristiques et la spécificité de chaque pesticide pour garantir une application effective.

b. Paramètres liés aux agriculteurs et applicateurs

Les pesticides étant des composés toxiques, le risque d'exposition à ces produits peut facilement augmenter si l'agriculteur et / ou le applicateur présent un faible niveau d'éducation ou n'a pas reçu une formation adéquate, même avec une perception de risques simple ou très faible. D'autant, lors de chaque application de produits phytosanitaires, la conscience des agriculteurs et surtout les applicateurs à la nécessité de lire l'étiquette, le respect de la dose à appliquer et de porter les équipements de protection individuelle EPI (combinaison complète, bottes en caoutchouc, masque, une paire de gants en nitrile, etc.) est strictement obligatoire, à fin de réduire au maximum le contact avec ces produits dangereuses et les risques qui les accompagnes (Boissonnot, 2014).

c. Paramètres liés au matériel de pulvérisation

Le matériel destiné à la pulvérisation des pesticides est une pièce importante dans l'opération de traitement phytosanitaire. Certaines caractéristiques liées à ces matériels disposent un impact majeur et direct sur l'augmentation ou la réduction du risque d'exposition de l'agriculteur, ou l'applicateur de pesticides, parmi lesquelles on dénombre :

- ✓ Le type du pulvérisateur : à dos manuel, les pulvérisateurs à dos opèrent à l'aide d'un levier, les pulvérisateurs à compression ou pneumatique, les pulvérisateurs à canne à

pulvérisation centrifuge, les pulvérisateurs à dos motorisés, ou à grande capacité montés sur véhicule. Mais, l'exposition est plus importante avec les pulvérisateurs manuels (Son, 2018).

- ✓ Les buses employées : cette pièce est importante pour la distribution du produit en tailles de gouttelettes (grosses, fines), ou le spectre de taille des gouttelettes (Boland et *al.*, 2004). Les grosses gouttes tombent par gravité, tandis que les fines gouttes restent en suspension dans l'air, transporté et/ou évaporé (Ndao, 2008).
- ✓ La vitesse du jet et la pression de pulvérisation élevée augmente aussi le risque d'exposition de l'applicateur (Son, 2018).

Encore, certaines mesures nécessaires peuvent aussi être les mêmes une cause de l'occurrence de l'exposition si non respecter. Parmi lesquels :

- ✓ Les buses ne doivent pas être vieilles ou obstruées, mais bien les nettoyer et débloquer (avant et après l'utilisation) afin d'assurer l'efficacité du produit, éviter un jet très irrégulier et le gaspillage ou le surdosage du pesticide sur la culture (Boland et *al.*, 2004).
- ✓ Le nettoyage et l'entretien correct des équipements de pulvérisation après chaque utilisation sont indispensables pour interdire la formation de rouille et l'obstruction des tuyaux et des buses par les résidus du produit pulvérisé (Boland et *al.*, 2004).

d. Paramètres liés aux conditions météorologiques

L'agriculteur ou l'applicateur de pesticides doivent être conscient de l'importance de certains conditions météorologiques lors de la lutte chimique contre les nuisibles, surtout :

- ✓ La température et l'humidité : contribuent dans le processus d'évaporation et ensuite sur la durée de vie de la goutte du produit épandu (Ndao, 2008), et si elles sont élevés cela permettra d'accélérer la pénétration des produits à travers la peau (Son, 2018).
- ✓ Le vent : une pulvérisation face au vent peut intoxiquer l'applicateur qui marche dans le brouillard pulvérisé. Donc, le traitement dans la matinée ou dans la soirée est préférable car il y a moins de vent, et contrairement un vent fort dérivera le jet sur l'applicateur, et sur d'autres organismes non ciblés (Boland et *al.*, 2004).
- ✓ La pluie : il faut éviter le traitement lorsqu'il pleut ou après une averse, parce que le pesticide pulvérisé perd son efficacité, et généralement il sera lessivé des plantes et pollue l'environnement (Boland et *al.*, 2004).

Chapitre IV. Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement

IV.1. Généralités

Les formulations des produits phytosanitaires sont souvent conçues comme toxiques, de par leur conception. Ils sont généralement disponibles sous forme liquide, de poussière, de poudres mouillables, de granulés dissoutes dans l'eau et d'émulsifiants concentrés (NRC, 1993).

Lors de l'opération de pulvérisation et même après, une grande partie des produits pulvérisés se perdent dans l'environnement (l'air, le sol, l'eau, les plantes et les animaux) et se déplacent hors des champs d'épandages vers les espaces non traités à proximité au plus loin (Millet et Bedos, 2016 ; Singh, 2019). Ces produits ne sont jamais utilisés entièrement par les plantes (Feola *et al.*, 2011), seulement une faible proportion du produit pulvérisé se fixe à la surface des feuilles (Bahrouni, 2010). La quantité qui reste se propage dans les différents compartiments, soit 15 à 40% dans l'air, et entre 10 à 45% dans le sol et dans les eaux de surface (Sinfort *et al.*, 2009). Régulièrement, les pesticides sont soumis à différents phénomènes, mécanismes et processus de transport (physique et naturels) (Figure 8).

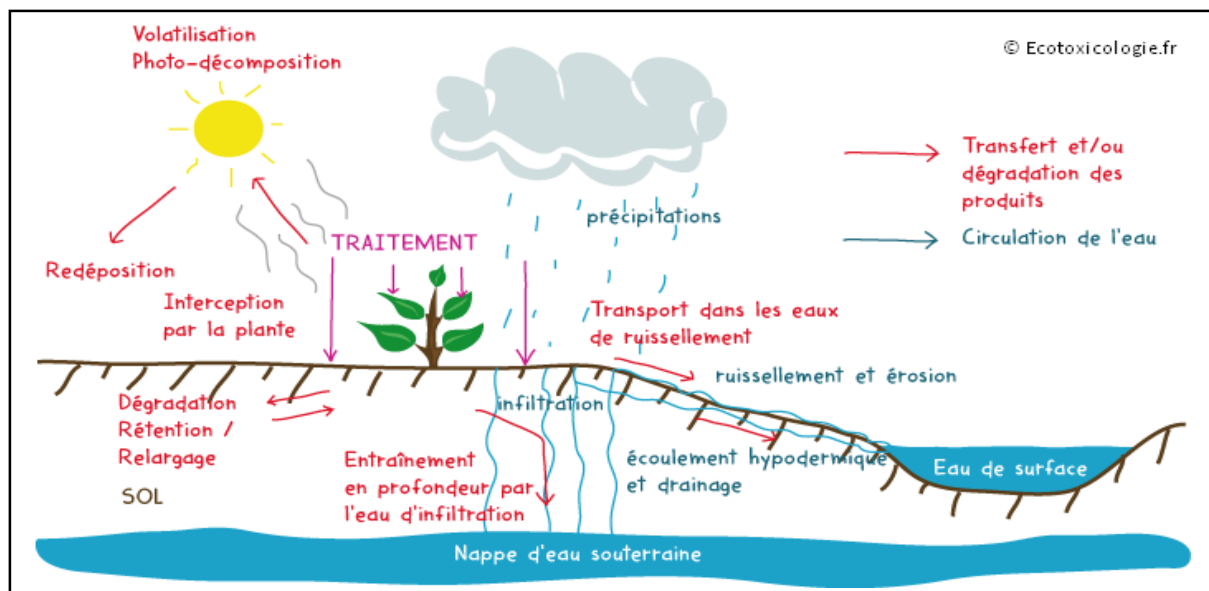


Figure 8 : Devenir d'un pesticide dans l'environnement pendant et après pulvérisation

(D'après DDAF45, consulter sur le lien : <https://ecotoxicologie.fr/notions-essentielles>)

L'immobilisation dans la zone racinaire des cultures, les dégradations dans le sol et encore le devenir des pesticides vers l'air est assuré par un transfert direct via volatilisation, et la dérive

par le vent (Van der Werf, 1996 ; Sarmah *et al.*, 2004 ; Gavrilesco, 2005 ; Gil, 2007). Alors que, le transfert vers les eaux de surfaces et souterraines s'exécute par le ruissellement, et vers les profondeurs du sol par la lixiviation (Feola *et al.*, 2011 ; Ayadi-Hajji, 2013; Le Bellec *et al.*, 2015 ; Pérez-Lucas *et al.*, 2018).

IV.2. Processus responsables de transformation des pesticides

IV.2.1. Dégradation

La dégradation est un processus très important, qui assure la transformation des pesticides dans le sol par voie biotiques (biologique) ou abiotiques (physico-chimique) (Queyrel, 2014). C'est aussi la demi-vie (DT50) ou le temps nécessaire pour que la moitié de la quantité initiale d'une substance active d'un pesticide appliquée soit décomposée dans le sol et/ou dissoute dans l'eau (Gouda, 2018). On compte trois types de dégradation :

- a. Photochimique (ou photodécomposition) : les substances actives de pesticides présentes dans les différents compartiments (la plante, à la surface du sol ou de l'eau) sont sujettes aux rayons solaires de longueur d'onde supérieur à 290-295 nm du spectre solaire (Lichiheb *et al.*, 2015):
 - Si ces substances absorbent directement les rayons, les transformations chimiques s'opèrent et les liaisons chimiques seront brisées sous l'effet de l'énergie du soleil (Calvet *et al.*, 2005 ; PPDB, 2019).
 - Si ces substances n'absorbent pas directement les rayons, ils seront transformés par des oxydants originaires de la lumière du soleil (Calvet *et al.*, 2005 ; PPDB, 2019).
- b. Chimique : elle fait appel aux différentes réactions chimiques pour décomposer les molécules de pesticides, parmi lesquelles : l'hydrolyse (réaction avec l'eau), l'oxydation (réaction avec l'oxygène) et la dissociation (libération d'ammonium et d'autres groupes chimiques de la molécule mère) (Kearmy et Karns, 1987).
- c. Biologique (ou biodégradation) : elle nécessite la présence des bactéries et les champignons, celles-ci interviennent dans la destruction des molécules de pesticides en sous-produits non toxiques (le dioxyde de carbone, l'eau et les minéraux) (NRC, 1993 ; PPDB, 2019). On distingue deux types de dégradation qui sont :

Etude Bibliographique

Chapitre IV. Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement

- *Métabolique* : désigne une dégradation complète de la molécule de pesticide par certains organismes dotés d'un matériel enzymatique, qui l'utilise comme source de carbone et/ou d'azote (Queyrel, 2014).

- *Co-métabolique* : indique une dégradation partielle de la molécule de pesticide, puis la formation des métabolites, grâce aux microorganismes qui exigent la présence d'un autre substrat dans le milieu pour actionner (Saulas, 1985 in Queyrel, 2014).

IV.2.2. Bioaccumulation, bioconcentration et biomagnification

Il est fortement susceptible de retrouver les résidus de pesticides sur différents niveaux trophiques et compartiments environnementaux, mais avec de concentrations croissantes ; le résultat de l'accumulation de résidus au cours du temps, fait distinguer :

- a) **Bioaccumulation** : elle assure l'élévation de la concentration d'une molécule d'un pesticide ou même un métal lourd dans le corps ou tissus d'un organisme par rapport à la concentration initiale dans l'environnement ; cela est via une exposition (ingestion, inhalation ou contact dermique direct) pendant un certain temps (Zenker et *al.*, 2014; Sire et Amouroux, 2016). Ainsi, les dommages s'occasionnent si la métabolisation ou l'excrétion est lente (Duong, 1999 ; Kamrin, 2000).

Toutefois, l'importance de la bioaccumulation dépend de :

- La spécificité du produit chimique contaminant (pesticide) c'est-à-dire : La nature (solubilité dans l'eau et la graisse), la concentration dans l'environnement, la quantité entrant dans l'organisme (Kamrin, 2000).
- La durée de l'exposition et le temps nécessaire pour que l'organisme absorbe le produit chimique, ainsi la capacité de l'organisme à dégrader et excréter le produit accumulé (Kamrin, 2000).

De ce fait, le Coefficient de partage octanol-eau (Kow ou (Log Poe)) quantifie et reflète la tendance d'une substance active ou d'un composé à la bioaccumulation dans deux liquides non miscibles (l'octanol et l'eau) ; autrement dit, il détermine le caractère hydrophile (tendance à s'associer à l'eau) ou lipophile (tendance à traverser les membranes biologiques et à s'associer aux graisses des organismes vivants) (Neumeister, 2017 ; Agnandji, 2018 ; Gouda, 2018).

Les résidus de pesticide qui s'accumulent dans la graisse de l'organisme vivant, puis éventuellement seront transportés avec le réseau alimentaire grâce au caractère lipophile

(Neumeister, 2017). C'est ainsi que, en fonction du Coefficient de partage octanol-eau les substances de pesticides se classifies comme suit :

- Plus de 3,5 : les substances bioaccumulables, et se sont dangereux de façon chronique (à long terme) pour les espèces aquatiques (Neumeister, 2017).
- Entre 3 et 3,5 : les substances actives ayant un faible potentiel de bioaccumulation.
- Moins de 3 : les substances non bioaccumulables.

b) Biomagnification (bioamplification) : implique à la fois un transfert de résidus de pesticides, et l'accroissement de la concentration de ces derniers dans les tissus et les organes internes du corps de l'organisme (Duong, 1999 ; Zenker et *al.*, 2014). L'exposition est principalement via l'eau, l'alimentation (ou ingestion d'un organisme ou une partie de celui-ci), par respiration ou par contact dermique direct.

c) Bioconcentration : c'est l'accumulation d'une substance, dissoute dans l'eau, par un organisme via l'eau, par la respiration ou par le contact direct avec la peau (Zenker et *al.*, 2014 ; Sire et Amouroux, 2016).

IV.3. Processus naturels responsables du mouvement des pesticides

Les pesticides se perdent dans l'environnement via les processus de la dérive (lors de l'épandage), la volatilisation (après application)¹, l'érosion éolienne et la suspension (hors période de traitement) (Millet et Bedos, 2016).

IV.3.1. La volatilisation

La volatilisation peut causer une perte du volume total appliqué d'un produit chimique presque 90%, de la surface des sols ou des plantes vers l'atmosphère (Calvet, 2005 ; Agnandji, 2018). Ce processus est décrit par : le flux, ou la demi-vie (temps nécessaire pour que la moitié du produit chimique se volatiliser), sans oublier l'action des conditions environnantes (la température et le vent) sur ces produits (Linde et Davis, 1994).

La volatilisation augmente particulièrement par la dégradation chimique, le ruissellement ou la lixiviation (Van Der Werf, 1996 ; Pereira et *al.*, 2016). Tandis que, le degré de volatilité d'un composé chimique dans une solution est définit par la constante de la loi de Henry (Kh), et selon Clendening et *al.*, 1990 in Van Der Werf (1996) :

¹ https://ecophytopic.fr/sites/default/files/upload-documents-entity-import_csv/n%25C2%25B0%252017%2520Effet%2520non%2520intentionnel%2520vf_0.pdf

Etude Bibliographique

Chapitre IV. Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement

- Pour les composés volatils avec un Kh beaucoup plus grands que $2,5 \times 10^{-5}$, la volatilité peut diminuer.
- Pour les composés moins volatils avec Kh beaucoup plus petit que $2,5 \times 10^{-5}$, la volatilité peut augmenter.

Par ailleurs, de point de vue toxicologique la constante de la loi de Henry (Kh) permet à des valeurs élevées de conclure que l'inhalation est la principale voie d'intoxication (Pereira et *al.*, 2016). Alors que, de point de vue environnemental les dommages seront plus importants si une substance active de pesticides à la tendance à se volatiliser dans l'air (durant et après la pulvérisation), se transporter sur de longues distance hors de la zone d'application pour atteindre et contaminer des zones non agricoles (Millet et Bedos, 2016 ; Agnandji, 2018).

IV.3.2. Dérive

Lors de l'épandage des produits phytosanitaires sur les cultures et sous l'action du vent, un mouvement physique de gouttelettes ou de vapeurs de ces produits s'exerce et implique leur déplacement hors de la zone traitée et parfois sur des distances plus ou moins longues (Queyrel, 2014 ; Millet et Bedos, 2016). Donc, les dégâts immédiates sur les cultures, les humains, la faune et à la flore à des concentrations partiellement élevées de pesticide si la dérive est sur de courtes distances (échelle locale inférieure à 1 km). En plus, la pollution des milieux et des eaux de surface à de faibles concentrations si la dérive est sur de grandes distances (Supérieure à 1000 km) (Piché, 2008). Toutefois, les conditions météorologiques (direction et vitesse du vent, température et humidité relative de l'air), l'équipement (type de pulvérisateur, buses et le réglage du pulvérisateur) et sans oublier les aptitudes et les compétences du manipulateur sont les majeurs facteurs influençant la dérive (Piché, 2008 ; Queyrel, 2014).

IV.3.3. Adsorption

L'adsorption est un phénomène réversible très important responsable de l'accumulation des pesticides dans le sol, garantissant un équilibre entre le sol et le pesticide absorbé (Navarro et *al.*, 2007 ; Queyrel, 2014). L'adsorption dépend des propriétés des sols, par exemple en zones arides où les températures sont élevées, l'activité microbienne est limitée due à la faible disponibilité de l'eau dans le sol, donc l'adsorption diminue (Navarro et *al.*, 2007 ; Bouseba et *al.*, 2009). Outre, si l'adsorption du pesticide est importante cela occasionne une faible mobilité de ce dernier et réduit les dangers de contamination des eaux souterraines (Mamy et *al.*, 2008).

L'adsorption des substances de pesticides sur la phase solide est définie par le coefficient de partage sol-eau (K_d) (Voltz et Louchart, 2001 ; Gouda, 2018). Ce coefficient varie en fonction de certains facteurs, par exemple : augmente (ou diminue) avec le pH, les propriétés physico-chimiques de molécule (la taille, la forme, la concentration, structure moléculaire, solubilité, la polarité, etc.) et la quantité du pesticide épanchée (Voltz et Louchart, 2001). Au contraire, la désorption est un phénomène inverse amenant au passage en solution des pesticides (Mamy et *al.*, 2008).

IV.4. Transfert de pesticides

IV.4.1. Ruissellement

Le ruissellement est un phénomène déterminant à effet direct, combiné au phénomène de l'érosion et permet le transfert de pesticides en surface (Queyrel, 2014). Autrement dit, un écoulement qui assure un transport du sol et les résidus des molécules ou composés chimiques dissous, en suspension ou adsorbés, non dégradés ou volatilisés (Van Der Werf, 1997 ; Maharaj, 2005 ; Agnandji, 2018). En conséquence, cela implique la contamination des cours d'eau, des ressources en eau (eaux de surface) (Queyrel, 2014 ; Charbonnier et *al.*, 2015) et même des bassins versants qui reçoivent les eaux de drainage (Boileau, 2015).

C'est ainsi que, le ruissellement s'exécute généralement lors d'une averse assez forte et durant une période plus longue causant la saturation complète de la surface du sol en eau (Maharaj, 2005 ; Agnandji, 2018). Bien que, le ruissellement dépend de certains nombre de facteurs outre que l'intensité de la pluie et sa durée. Certains facteurs peuvent être relatifs au couvert végétal (type, stade végétative et importance), au sol (la pente, la nature et structure du sol, pourcentage de matières organiques, pH, taux d'humidité et les techniques culturales appliqués), et surtout au caractéristique spécifique de la substance active du pesticide (les propriétés physico-chimiques et le temps entre la pulvérisation du produit et l'averse) (Charbonnier et *al.*, 2015 ; Agnandji, 2018).

IV.4.2. Lixiviation

Le lessivage est un autre phénomène qui permet le transfert de matières actives dissoutes dans la solution du sol en profondeur, sous l'action de la diffusion moléculaire, la convection et la dispersion hydrodynamique (Calvet, 2005 ; Queyrel, 2014). Cependant, la lixiviation est en relation étroite avec l'adsorption et la persistance, c'est-à-dire qu'une substance active à

Etude Bibliographique

Chapitre IV. Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement

caractère persistant et non adsorbé par le sol présente une tendance d'être lessivés à la première occasion (Neumeister, 2017).

Alors que, l'adsorption et la persistance ensemble déterminent l'indice d'ubiquité des eaux souterraines (GUS). Ce dernier expose la mobilité intrinsèque des pesticides (Neumeister, 2017). D'après Calvet (2005), l'indice se calcule suivant l'équation :

$$GUS = \log(DT50) \times (4 - \log(Koc))$$

- Si le GUS est supérieure à 2,8 : le pesticide peut être lixivié et retrouvé dans les eaux souterraines.
- Si le GUS est inférieure à 1,8 : le pesticide est non lessivable.

Tandis, l'ampleur de la lixiviation est en fonction des conditions du milieu, la quantité et la fréquence d'utilisation du pesticide (Neumeister, 2017).

IV.4.3. Erosion éolienne

L'érosion éolienne depuis le sol est aussi un processus non négligeable qui assure le transfert des molécules de pesticides vers l'air, et dépend de l'intensité du vent et de la nature du sol (Alix et *al.*, 2005 ; Attard et *al.*, 2015). Tandis, depuis la surface aérienne de la plante, l'érosion éolienne des résidus de pesticides sont faibles (Alix et *al.*, 2005).

IV.4.4. Absorption par les plantes

Une partie de produits phytosanitaires pulvérisés sont absorbée par les plantes, mais les quantités déposées sur la surface aérienne des plantes diffèrent selon l'importance du couvert végétal, les conditions météorologiques et le type de pulvérisateur, etc. (Navarro et *al.*, 2007).

IV.5. Facteurs qui influencent le transfert de pesticides dans l'environnement

- *Pression anthropiques* : l'être humain est la principale raison de la présence de pesticides dans l'environnement et de la pollution des eaux de surface et souterraines (Boithias, 2012).

- *Les caractéristiques du produit* : les propriétés physico-chimiques de la molécule de pesticide tels que : la solubilité, la capacité d'être absorbé, la persistance et la mobilité sont les caractéristiques principales qui conditionnent le transfert de pesticide dans l'environnement, puis à cours ou à long terme la contamination des sols et des eaux souterraines et l'exposition des organismes vivants.

- *Les facteurs météorologiques* : il s'agit des conditions climatiques, l'intensité et la durée du vent, du ruissellement des précipitations et de l'irrigation (avant ou après le traitement

Etude Bibliographique

Chapitre IV. Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement

phytosanitaire), l'humidité et d'une température élevées qui influencent la volatilisation des pesticides dans l'air, et leur dispersion dans le sol et l'eau (Boithias, 2012 ; Lichiheb et *al.*, 2015).

- *Les propriétés de surface* : les caractéristiques du milieu et du sol jouent aussi un rôle primordiale dans le transfert de ces produits dans les différents compartiments de l'environnement tels que : la granulométrie, la topographie des parcelles, la présence de matière organique, des bactéries, des microorganismes qui décomposent les particules, etc (Boithias, 2012 ; Lichiheb, 2015). Sans négliger l'influence des pratiques agricoles et l'état de surface (terrain cultivé ou nue, et type de culture végétale).

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

V.1. Notions du danger, du risque et leur relation

V.1.1. Le danger

Le danger peut être adressé à un agent biologique, chimique ou physique, et tout phénomène et toute action du fait de leurs propriétés, avec la possibilité de causer un préjudice sur la santé ou/et l'environnement dans des certaines conditions (FAO, nd ; Calvet, 2005 ; Gouda, 2018 ; Tadeo et *al.*, 2019).

V.1.2. Le risque

Alors que, le risque est la probabilité d'occurrence d'un préjudice suite à l'exposition de la santé et/ou l'environnement à d'un danger défini ou non (FAO, nd ; Calvet, 2005 ; Gouda, 2018 ; Tadeo et *al.*, 2019) ; on distingue deux types qui sont:

- ✓ Risque sanitaire : c'est la probabilité qu'un individu ou un groupe d'individu qui subissent des effets sérieuses au niveau de la santé si sont exposés à un danger qui conque (Branchet, 2018).
- ✓ Risque environnemental : c'est la possibilité que les communautés des écosystèmes s'exposent à un danger dans un temps considéré, et portent des conséquences indésirables (Branchet, 2018).

V.1.3. La relation entre le danger et le risque

Le danger et le risque sont deux notions indissociables, et à la base de l'évaluation et l'estimation de multiples risques. Donc, le risque est toujours conditionné par la présence d'un danger, et défini d'être probable c'est-à-dire exprimé en nombre 0 (rien ne se produit) et 1 (garantie qu'un effet nocif se produit), et caractérisé par la dangerosité de ses effets (Calvet, 2005 ; Branchet, 2018). *La nature du risque dépend de celle du danger (agent ou action) et de l'entité concernée* (Calvet (2005). Entre le danger d'une substance et le risque sanitaire il y a l'exposition et la susceptibilité de chacun (Denhez, 2011).

V.2. Analyse des risques : approche générale

Etant donné que, les pesticides ne sont pas sans risques pour l'homme et son environnement, donc les dangers, l'exposition, les risques et prévention sont nécessairement à déterminer (Rico, 2004 ; Barriuso, 2004 ; Amiard, 2011). L'analyse du risque repose sur trois étapes essentielles qui sont : l'évaluation des risques, la gestion et la communication des risques (Figure9) (Schiffers et *al.*, 1995 ; Vergucht et *al.*, 2006).

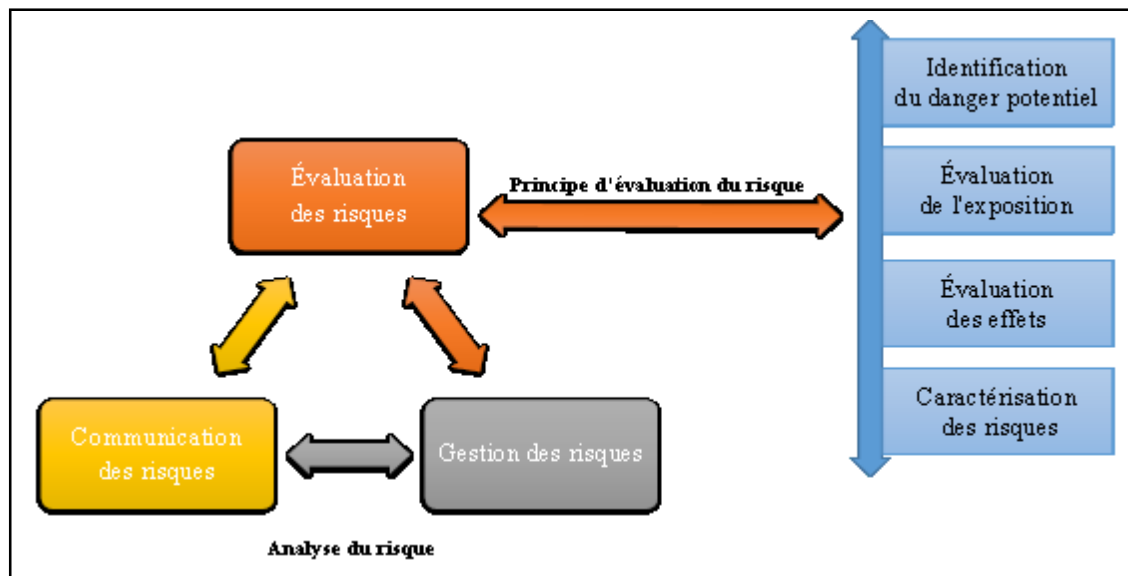


Figure 9 : Analyse des risques : approche générale et principe (adapté par Vergucht et al., 2006)

V.2.1. Evaluation des risques

L'évaluation des risques est une discipline scientifique qui permet d'avoir une description sérieuse du risque, en particulier dans les pires scénarios, en identifiant les conséquences à court terme et/ou à long terme associées à l'utilisation de produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine (analyse des risques toxicologiques) et l'écosystème en général (analyse des risques écotoxicologiques ou environnementaux) (Rico, 2004).

Le concept d'évaluation du risque comporte deux approches : l'évaluation prospective (a priori) et l'évaluation rétrospective (a posteriori) (Ribera et Taberly, 2011).

V.2.1.1. Evaluation prospective (a priori)

L'évaluation se fait avant la mise en marché des substances ou les matières afin de connaître leurs risques potentiels (Tadeo et *al.*, 2019). A cet effet, les analyses peuvent être effectuées sur diverses matrices environnementales (eau, sédiments, organismes) (Caquet, 2012).

Dont, des tests de laboratoire, des mesurées directes in situ et des modèles prédictifs d'exposition sont réalisables (Ribera et Taberly, 2011).

V.2.1.2. Evaluation rétrospective (a posteriori)

Ce type d'évaluation est possible après commercialisation des produits phytosanitaires, utilisation et propagation dans les différents compartiments de l'environnement (Tadeo et *al.*, 2019). Elle repose principalement sur des mesures d'expositions et d'effets in situ (Ribera et Taberly, 2011).

Tandis, en vertu de la directive 93/67/CEE du 20 Juillet 1993, l'évaluation des risques (eco) toxicologiques comporte quatre actions importantes, qui aident impérativement dans le contrôle des risques des produits phytosanitaires et qui sont : l'identification du danger potentiel, l'évaluation de l'exposition, l'évaluation des effets et la caractérisation des risques (FAO, nd ; Devillers et *al.*, 2005 ; Amiard, 2011).

- a. *Identification des dangers potentiels* : C'est une formulation du problème potentiel à ce stade, la priorité est donnée à la reconnaissance des répercussions graves et indésirables (connus et /ou potentiels) sur la santé associés à un danger, par exemple composés toxique ou un produits phytopharmaceutiques dans le cadre de conditions d'exposition (Vergucht et *al.*, 2006).
- b. *Évaluation de l'exposition* : c'est une étape indispensable à faire avant la mise sur le marché de toute nouvelle substance. Parce que, cela permet de déterminer les limites, valeurs et les concentrations des substances actives qui peuvent nuire aux organismes vivants et/ou aux individus et l'environnement suite à une exposition à celles-ci. A ce stade, une évaluation qualitative et/ou quantitative du degré d'absorption probable est possible en faisant recours aux multiples disciplines (modélisation, chimie, géologie, hydrologie, etc.), méthodes de mesure et de modèles afin de réduire au maximum les risques d'exposition de ces substances (Vergucht et *al.*, 2006 ; Amiard, 2011 ; Son, 2018).

- c. *Évaluation de l'effet* : vise à évaluer la relation entre la dose ou concentration, et de la réponse spécifique à la substance (l'effet et sa rudesse) (Amiard, 2011). Compte tenu du type de molécules de pesticides utilisés, si la dose appliquée sur un individu est supérieure au seuil de toxicité, cela entraînera une augmentation de l'intensité de toxicité de ces substances, une réponse sévère de l'individu et une diversité des effets toxiques (Lapointe, 2004 ; Bensakhria, 2018). Donc, l'effet toxique est en fonction de la quantité de la substance appliquée et le seuil de nuisibilité. Donc, il existe une corrélation entre la dose et l'effet d'une substance chimique toxique (Bensakhria, 2018).
- d. *Caractérisation des risques* : C'est l'évaluation de l'impact en combinant l'exposition réelle ou prévue à une substance active toxique (évaluation quantitative c'est-à-dire en fonction de la dose) et la gravité des effets néfastes (évaluation qualitative) possible à s'engendrer dans une population humaine, chez les animaux, dans l'environnement ou même apparaît dans les denrées alimentaires (Amiard, 2011 ; Son, 2018 ; Tadeo *et al.*, 2019).

V.2.2. Gestion des risques

Il s'agit d'un processus visant à évaluer différentes politiques possibles afin d'identifier ensuite les options de contrôle appropriées pour les mettre en œuvre et l'exécution ultérieure en raison de réduire les risques (Schiffers, 1995 ; Vergucht *et al.*, 2006).

V.2.3. Communication sur les risques

C'est le processus d'échange interactif d'informations et d'avis sur les risques encourus entre les personnes chargées de les évaluer (évaluateurs et gestionnaires des risques) et les parties concernées (parties prenantes et consommateurs) (FAO, nd)¹, pour enfin prendre une décision et de le mettre en œuvre (Amiard, 2011).

V.3. Types d'évaluation des risques liés à l'usage de pesticides

Le risque sanitaire et écologique est défini par le danger lié à la toxicité intrinsèque de la substance active et l'exposition dans un environnement (Ayadi Haji, 2012 ; Son, 2018).

De la sorte, l'évaluation toxicologique et écotoxicologique de pesticides sont ensemble nécessaire. C'est ainsi, les études de laboratoire servent à estimer le degré d'exposition des

¹ <http://www.fao.org/3/ae922f/ae922f04.htm>

individus à une substance chimique et à expliquer les variations de l'effet, c'est-à-dire la relation dose-réponse ou dose-effet (Tadeo et *al.*, 2019).

En vertu de règlement de la communauté européenne (CE) N° 1488/94 de la commission du 28 juin 1994, établissant les principes d'évaluation des risques pour l'homme et pour l'environnement présentés par les substances existantes conformément au règlement (CEE) N° 793/9, on distingue :

V.3.1. Evaluation des risques pour l'environnement (éco-toxicologiques)

Le risque environnemental est fonction de la dangerosité de la substance (propriété toxicologique) et le degré d'exposition des environnements naturels à cette substance (Barriuso, 2004, comme illustre l'équation 1 :

$$RISQUE\ ENVIRONNEMENTAL = TOXICITE\ DE\ LA\ SUBSTANCE \times EXPOSITION \quad (1)$$

A cet effet, l'écotoxicologie serve à estimer le danger et à déterminer les effets sur différentes espèces (Tadeo et *al.*, 2019) ; trois niveaux sont à étudier, de puis la molécule, les êtres vivants (population et communauté), jusqu'à l'écosystème (Barriuso, 2004 ; Amiard, 2011).

En vertu des directives européennes 93/67/EC, 793/93/EC et 1488/94/EC, et pour une substance probablement risquée pour l'environnement, les données de toxicité à recueillies concernent certaines espèces terrestres, aquatiques et bénéfiques (Neumeister, 2017 ; Tadeo et *al.*, 2019).

Ces derniers présentent les différents compartiments environnementaux (Neumeister, 2017), et leur choix est soigneusement basé sur l'abondance dans la nature, l'importance écologique et la sensibilité aux pesticides, outre les paramètres de toxicité sollicités de la faune et la flore sauvages sont présentés dans la figure 10 (Bensakhria, 2018 ; Tadeo et *al.*, 2019).

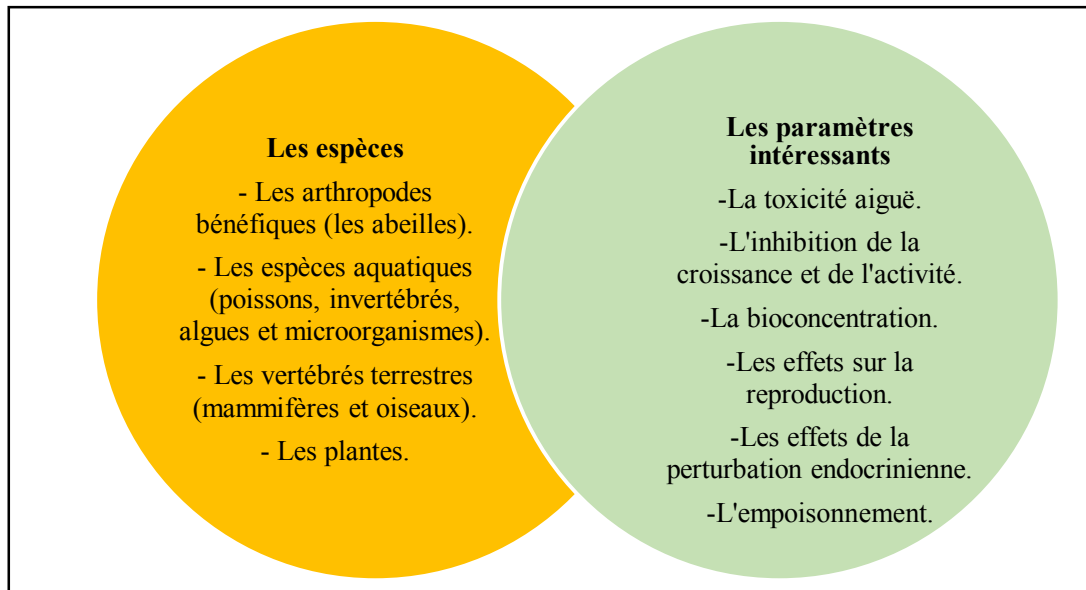


Figure 10 : L'évaluation de l'toxicité de pesticides pour les différentes espèces.

Afin de concevoir l'évaluation des risques environnementaux, il faut suivre les quatre étapes nécessaires qui sont : 1) Identification du danger ; 2) Evaluation du rapport dose (concentration) - réponse (effet) ; 3) Evaluation de l'exposition ; 4) Caractérisation du risque, comme illustre tableau 10.

Conformément aux directives européennes et le modèle réglementaire d'évaluation du risque environnemental adapté par Rivière (2010), l'estimation d'une concentration prédite sans effet pour l'environnement (CPSE ou PNEC, Predicted No-Effect Concentration), puis la comparée à la concentration prédite dans l'environnement (CPE ou PEC, Predicted Environmental Concentration) (Rivière, 2010 ; Barriuso et *al.*, 2015 ; Tadeo et *al.*, 2019).

A cet effet, certains paramètres sont à considérer à fin d'estimer l'exposition de chaque groupe d'espèces à une substance de pesticide, tels que : les voies possibles garantissant sa transferts dans l'environnement, sa quantité, sa stabilité, ainsi sa biodisponibilité (Alix et *al.*, 2005).

A la suite, les valeurs (éco) toxicologiques de référence qui déterminent le danger pesticides, sont : la DL50 et la CL50 (pour la toxicité aiguë), le NOEC (pour la toxicité chronique), l'AOEL et l'NAEO (pour l'opérateur), la DJA et le DARf (pour le consommateur) et le PNEC et le PEC (pour l'environnement) (Damalas et Eleftherohorinos, 2011 ; Mairif, 2015 ; Lewis et *al.*, 2016 ; Son, 2018).

Etude Bibliographique

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

Tableau 10 : Evaluation du risque environnemental (en vertu des directives européennes 93/67/EC, 793/93/EC et 1488/94/EC, et Rivière, 2010).

Etape	Actions d'évaluation du risque environnemental	Type d'essais	Type de risque
Evaluation du rapport dose (concentration) - réponse (effet)	<ul style="list-style-type: none">- Détermination de PNEC.- Ou estimation qualitative de la relation dose-réponse.- Détermination de : DL50, CL50, CE50, CI50, NOEL(C), LOEL(C).	<ul style="list-style-type: none">- Essais écotoxicologiques en laboratoire.	<ul style="list-style-type: none">- Risque d'effets à court et/ou long terme sur la faune et la flore aquatique.
Evaluation de l'exposition	<ul style="list-style-type: none">- Déterminer le PEC, ou si nécessaire estimation qualitative de l'exposition.	<ul style="list-style-type: none">- Essais de biodégradabilité, paramètres physico-chimiques (Koc, solubilité),- Définition des usages,- Scénarios d'exposition,- Modèles de transfert dans les milieux.- Toxicité	<ul style="list-style-type: none">- Risque de pollution des milieux (sol – eaux de surface – eaux profondes – air).- Risque sanitaire
Caractérisation du risque	<ul style="list-style-type: none">- Définir le PBT (Persistance et Biodégradabilité, Bioaccumulation, Toxicité), c'est-à-dire le rapport PEC/PNEC.	<ul style="list-style-type: none">- Essais de biodégradabilité,- Kow (essai de bioconcentration),- Essais écotoxicologiques	<ul style="list-style-type: none">- Risque d'effets à court et/ou long terme sur la faune et la flore aquatique.- Risque d'effets à long terme sur l'environnement aquatique.- Risque sanitaire.

V.3.2. Evaluation des risques : santé humaine (toxicité)

L'évaluation de de la toxicité pour la santé humaine, se fait à travers des études toxicologiques de laboratoire pour tester la toxicité d'une substance et les effets d'exposition sur un organisme vivant. Cela suivant quatre étapes principales qui sont :

- **Identification du danger.**
- **Evaluation du rapport dose (concentration) - réponse (effet)**, comme montre-la figure 11.
- **Evaluation de l'exposition** (les travailleurs, les consommateurs et l'homme exposé indirectement via l'environnement).
- **Caractérisation du risque** (comparaison entre NOAEL ou LOAEL, estimation de la dose (concentration) qui cause l'exposition de la population, et estimation quantitative « calcul du rapport d'exposition/N(L) OAEL).

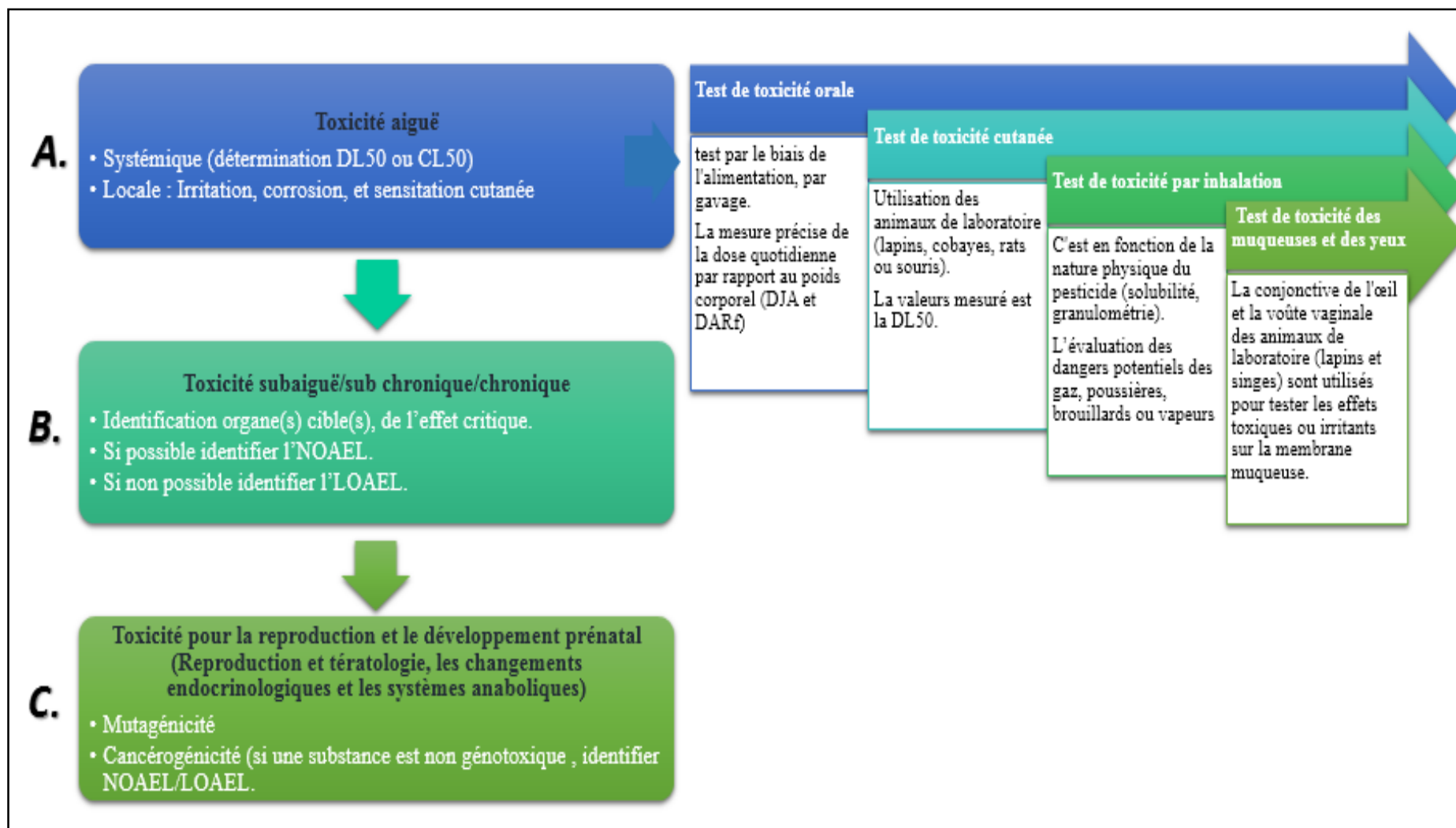


Figure 11 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du rapport dose (concentration) - réponse (effet) (Synthétisé et adapté par Soudani N. en 2020)

V.3.3. Evaluation des risques pour opérateurs (exposition)

Les agriculteurs sont les premières personnes exposées par les pesticides, en raison qu'ils sont en contact directe avant, pendant et après chaque opération de traitement phytosanitaire des cultures (la manipulation, le mélange, et etc.). En conséquence, l'évaluation de l'exposition des applicateurs est nécessaire pour l'évaluation des risques, lors de l'homologation de pesticides et en vertu du règlement Européen n° 1107/2009 (Großkopf et *al.*, 2013 ; Son, 2018).

V.3.3.1. Modèles de calcul d'exposition

Plusieurs pays ont développé des modèles qui permettent d'estimer le risque d'exposition des manipulateurs ou des applicateurs par ces substances, notamment lors des traitements phytosanitaires (NDao, 2008 ; Glass et Machera, 2009). Bien que, l'évaluation de l'exposition des opérateurs n'as pas fait l'objet de notre thèse, il parait nécessaire de dénombrés les modèles les plus populaires, destinés à l'estimation d'exposition prédictives des opérateurs lors de leur utilisation de pesticides. Donc, en fonction du pays d'origine on trouve : UK POEM (Grande-Bretagne), GERMAN Model (Allemagne) et DUTCH Model (Pays-Bas).

V.4. Méthodes de diagnostic des polluants et des impacts

Les méthodes de mesure sur site sont efficaces pour une évaluation précision des risques associés à l'utilisation de pesticides, mais la reproduction des mesures est difficile. Puisque, les méthodes sont des fois coûteuses, laborieuses, sophistiqués et dépendants des conditions agricoles et climatiques (Reus et *al.*, 2002 ; Mamy et *al.*, 2008).

Par contre, il existe plusieurs autres approches et méthodes d'évaluation de risques des pesticides pour l'homme et l'environnement, qui diffèrent selon leur faisabilité et l'exactitude des évaluations, et à leur sujet, les scientifiques ont très bien abordés et détaillés en littérature. De la sorte, il parait intéressant de donner une brève présentation sur certaines approches et méthodes d'évaluation de risques développés et adoptés par les pays Européens. Cependant, au regard de besoins de ce travail, la méthode des indicateurs environnementaux sera abordée un peu, puis plus tard en détail dans la partie expérimentale pour l'utilisé dans l'évaluation des risques des pesticides.

Depuis les années 80, les indicateurs environnementaux ont réussis à administrer l'usage de pesticide par le bais des différentes régulations, lois et décrets. Il est possible de suivre cinq méthodes de diagnostic des contaminations et des impacts pour comprendre la situation, en cas de pollutions phytosanitaire d'origine agricole (Figure 12).

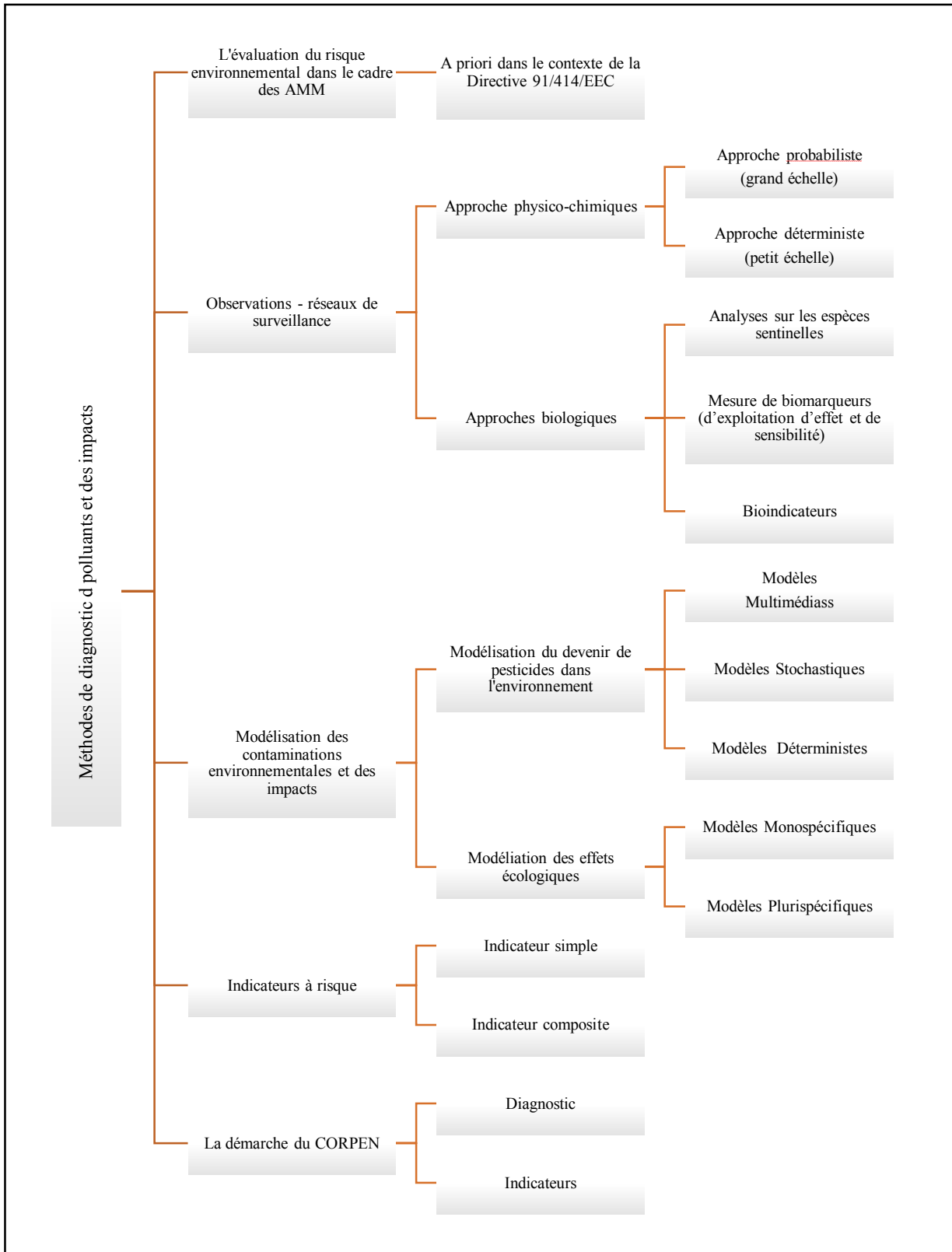


Figure 12 : Les cinq méthodes de diagnostic des polluants et des impacts (Synthétisé depuis Alix et al., 2005)

V.4.1. Evaluation du risque environnemental dans le cadre des AMM

L'évaluation des risques écotoxicologiques des pesticides a priori est réalisée dans le cadre de la Directive 91/414/EEC. Cette directive à administrer les conditions nécessaires (vingt-quatre articles et six annexes) pour autoriser la mise sur le marché (AMM) d'une substance nouvelle dans les Etats membres de l'Union Européenne (Batsch, 2011). Cela peut prendre une dizaine d'années, pour qu'un investissement d'environ 200 millions d'euros et la validité de cette AMM obtenue soit 10ans. Alors que, les anciennes substances suivent la loi de REACH² (Batsch, 2011). Au niveau Européen, une substance active doit suivre la procédure communautaire qui exige le dépôt d'un dossier toxicologique dans un Etat membre pour être examiné par les autorités spécialisées, c'est-à-dire l'avis de l'EFSA, les autres Etats membres et la commission Européenne afin de l'inscrire dans l'annexe I (liste positive) (Batsch, 2011).

La commission spéciale fait appel aux physico-chimistes, toxicologues, et des écotoxicologues, outre des évaluateurs dans la caractérisation des résidus de pesticides dans le végétale et l'environnement. En fonction de l'approche transversale, les substances sont à tester dans les conditions prévues d'utilisation, puis en différentes étapes et l'approche progressive parvient à exploiter des outils de prédiction de l'exposition et des impacts (Batsch, 2011).

Après, s'il n-y pas de risque et sans discrimination entre espèces ou prévalence d'un risque sur un autre, une décadence des populations non visées suite à des effets létaux et sublétaux et à des effets indirects du pesticide, la décision d'autoriser la mise sur le marché d'un produit sera active (Alix et *al.*, 2005 ; Batsch, 2011). En vertu de la directive 91/414/CEE, les expositions répétées à la même substance, les expositions multiples, simultanées ou non des écosystèmes à des substances différentes ; ainsi l'évaluation a priori peut faciliter le retrait des substances chimiques des marchés si sont avérés dangereuses pour l'homme et l'environnement. Toutefois, dans certains cas ce type d'évaluation n'est pas applicable à cause du manque de données écologiques et écotoxicologiques dans certains domaine, la conformité par rapport à la directive ou à l'usage acceptable de ces substances en Europe (Alix et *al.*, 2005 ; Batsch, 2011).

² REACH : est un règlement européen (règlement n°1907/2006) entré en vigueur en 2007 pour sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne. Il s'agit de recenser, d'évaluer et de contrôler les substances chimiques fabriquées, importées, mises sur le marché européen (<https://www.ecologie.gouv.fr/reglementationreach#:~:text=REACH%20est%20un%20r%C3%A8glement%20europ%C3%A9en,mises%20sur%20le%20march%C3%A9%20europ%C3%A9en>).

V.4.1.1. Observations - réseaux de surveillance

L'évaluation de la qualité des milieux naturels se réalise par des études de biosurveillance, c'est-à-dire tout un réseau de surveillance environnementale. A la suite, les contaminants ou pesticides sont analysés dans les compartiments environnementaux par deux méthodes lesquels : - 1) Approches physico-chimiques qui utilise la méthode statistique dite probabiliste (en cas de la disponibilité d'un grand nombre de données d'écotoxicité), et les facteurs d'extrapolation dite déterministe (en cas de la disponibilité d'un nombre limité de données).

- 2) Approches biologiques, utilisant la mesure de biomarqueurs (biochimiques/physiologiques), analyses sur des espèces sentinelles (indicateur de la santé de l'écosystème) et des bioindicateurs (espèces ou groupes d'espèces).

V.4.1.2. Modélisation des contaminations environnementales et des impacts

Divers projets européens ont entrepris l'estimation des risques des substances toxiques et le transfert des pesticides dans l'environnement par modélisation (à l'échelle du bassin versant, en profondeur, transfert de pesticides dans l'air, les sols, et vers les eaux de surface) (Gouy et *q*, 1998 ; Alix et *al.*, 2005). La plupart des modèles existants sont élaborés au niveau de la parcelle agricole (Topping et *al.*, 2020). On compte, trois types de modèles, multimédias, stochastiques et déterministes qui peuvent donner une réponse aux hypothèses formulées (soit confirmation ou affirmation) à-propos les sujets difficilement mesurables, simuler les différents scénarios possibles, et ainsi à différentes échelles spatiales (Boithias, 2012), l'évaluation de la pollution et la pression des contaminants sur les ressources naturelles.

Généralement, l'analyse des risques environnementaux alimentés par la modélisation est considéré approche efficace, surtout lorsque la modélisation et la surveillance sont combinées pour valider les évaluations et la compréhension de la situation (Topping et *al.*, 2020). En conséquence, cela offre une évaluation des risques à plusieurs niveaux et une possibilité de sélectionner et d'adapter les stratégies d'atténuation des risques liés à l'utilisation des pesticides aux contextes locaux avec d'autres outils de politique de gestion agricole (Topping et *al.*, 2020). Par exemple Mamy (2018), a fait la caractérisation des impacts des pesticides sur l'environnement et contribuais à l'évaluation la durabilité des systèmes de culture ; toute en utilisant différentes modèles tels que : le modèle PRZM³ pour modéliser le transfert des

³ Le PRZM : est un modèle unidimensionnel à différences finies qui tient compte du devenir des pesticides et de l'azote dans la zone racinaire des cultures (<https://www.epa.gov/ceam/przm-version-index>).

Etude Bibliographique

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

pesticides dans les sols en présence de production, l'utilisation combinée du modèle de culture STICS⁴ et du modèle MACRO⁵ (modèle STICS-MACRO) pour évaluer les flux et concentrations en pesticides appliqués dans des systèmes de culture complexes. En outre, le modèle BROWSE⁶ vise à évaluer les risques pour la santé humaine liés à l'utilisation de pesticides dans différents types de systèmes de culture (conventionnels et innovants).

Toutefois, l'approche par modélisation est conditionnée par la variabilité naturelle et les changements de pratiques sur la contamination des milieux, ce qui rend l'usage et le paramétrage de certains modèles difficile, et la disposition des informations exactes beaucoup indispensable (Alix et *al.*, 2005).

Également, la modélisation des effets écologiques regroupe deux modèles, monospécifiques et plurispécifiques. Tant elle nécessite des modèles mécanistes et relations mathématiques pour prédire les différentes variables d'état écologiques, c'est-à-dire l'évaluation du risque écotoxicologique (Alix et *al.*, 2005). Alors que, les modèles de populations et de métapopulations présentent une mesure écologique, faisable, plus pertinente de l'impact des contaminants et des effets mesurés plus sensibles celles au niveau individuel. Parce que, au niveau individuel les critères d'effet (survie, croissance, reproduction, etc.) sont mesurés par l'approche classique (c'est-à-dire comparer le PEC avec le PNEC). Cependant, le PNEC utilise des facteurs de sécurité afin d'extrapoler pour les écosystèmes, donc on s'attend à avoir une surestimation ou une sous-estimation des risques (Forbes & Calow, 1999 in Alix et *al.*, 2005).

Enfin, les études de terrain sont toujours importantes et la modélisation des effets des pesticides dans l'environnement est un domaine de recherche à explorer (Alix et *al.*, 2005).

⁴ Le STICS (Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standard) : modélise à l'échelle de la parcelle, le développement d'une culture, voire de cultures associées ou encore d'une succession culturale, en fonction des paramètres agronomiques (climat, sol, et pratiques agricole) (https://www6.inrae.fr/basc/content/download/3407/34402/version/1/file/Fiche_modele_BASC_STICS.pdf).

⁵ Le MACRO (Water and solute transport in macroporous soils, Larsbo et Jarvis, 2003) est un modèle en 1D qui permet de simuler le transport de l'eau et des pesticides dans le sol de décrire les flux préférentiels dans le profil de sol (Mamy et al., 2017).

⁶ Le BROWSE : est un modèle mécaniste développé par le projet européen BROWSE (www.browseproject.eu) pour prédire l'exposition humaine (opérateurs, travailleurs, spectateurs et résidents notamment) aux pesticides (Lammoglia et al., 2017).

V.4.1.3. Indicateurs environnementaux

Certainement, les pesticides présentent à la fois de multiples avantages et inconvénients ; or que les problèmes qu'elles engendrent sont beaucoup préoccupantes. A cet effet, l'évaluation des risques environnementaux est considérée comme une étape importante pour la prise de décisions correctives et pour la réduction de l'usage inadéquate de ces produits.

A partir de là, de nombreux outils prédictifs, modèles et indicateurs de risques ont été conçus pour estimer les risques potentiels qui portent l'utilisation de pesticides pour la santé humaine et l'environnement (Levitan et *al.*, 1995 ; Van der Werf, 1996 ; Reus et *al.*, 2002 ; Finizio et Villa, 2002 ; Mamy et *al.*, 2008 ; Kromann et al, 2011).

Les pesticides se diffèrent par leurs toxicités, et leurs conséquences potentielles conjointes, la manière d'évaluation l'impact relative aux pesticides variés en fonction des objectifs des méthodes, des approches et des indicateurs développés (Damalas, 2014).

D'après Girardin et *al.* (1999), beaucoup de chercheurs comme Kerr (1990), Adriaanse (1993) et Mitchell et *al.* (1995) ont essayés de donner une définition claire d'un indicateur, et à la fin, ils sont en accord *qu'un indicateur est créé pour annoncer, révéler, ou notifier des informations concernant des systèmes complexes afin de mieux comprendre les situations lorsque la mesure et l'évaluation directe sont impossible, ainsi faciliter l'interprétation et le jugement d'une situation par rapport à un objectif et par rapport à une norme.*

En général, les indicateurs sont des outils de diagnostic et d'aide à la décision, et en fonction de la qualité des données on peut avoir une évaluation rétrospective (avec des données historiques) ou une évaluation prospective (avec des données de supposition).

Pareillement on peut évaluer les résultats a posteriori (le degré de réalisation d'objectifs préétablis) ou a priori (les effets potentiels des variations simulées du système).

Donc, les modèles d'indicateurs de risque environnementaux de pesticides sont couramment employés pour estimer l'effet de pesticides appliquées sur la santé humaine et l'environnement. Conformément à l'OCDE⁷(2016), les indicateurs sont conçus pour identifier les risques potentiels liés à l'usage de pesticides, ce qui assure l'application de ces produits en toute sécurité.

⁷ OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques.
[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2016\)56&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2016)56&doclanguage=en)

En outre, Girardin *et al.* (1999), ont compté deux types d'indicateur, soit simple (issue d'une mesure directe ou d'une estimation obtenue par modélisation) et composite (une agrégation de données mesurées ou des variables estimées). Ultérieurement, Drolet (2005), a exprimé dans son présentation intitulé « L'utilité des indicateurs de risques associés aux pesticides » que plusieurs indicateurs ont été développés avec de formes divers pour des objectifs bien définis afin d'estimer les risques liés à l'usage produits phytosanitaires (Figure 13).

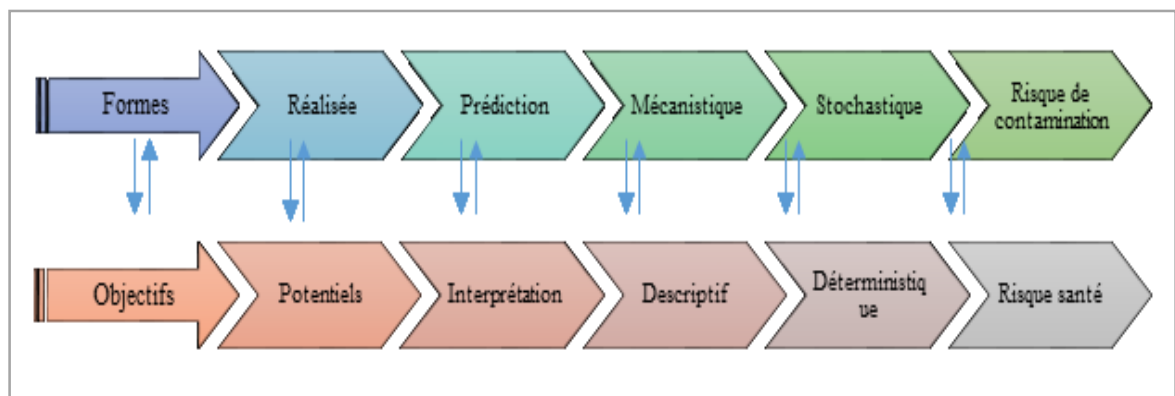


Figure 13 : Les formes et les objectifs correspondants des indicateurs de risques (Synthétisé de puis Drolet, 2005)

Tandis que, pour en construire un schéma récapitulatif des trois majors groupes d'indicateurs la figure 14 ci-dessous a été inspirée depuis les travaux de Bockstaller *et al.* (2007) et Devillers *et al.* (2005). A la suite, le premier groupe collectionne des méthodes d'évaluation plus simples, comme l'IFT, NODU et les indicateurs proposés par le groupe Phytopratt du CORPEN. Ces approches simples appellent à exploiter les données techniques (le nombre de matières actives utilisées, les doses appliquées, la fréquence de traitement).

Donc, l'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) est un indicateur portant sur la pression des pratiques agricoles sur le milieu et reflète l'intensité d'utilisation des pesticides, sans tenir en compte le devenir de ces produits dans l'environnement ou l'écotoxicité (Aubertot *et al.*, 2005 ; Pingault, 2007 ; Brunet *et al.*, 2008) ; cependant il reste un outil d'aide à la décision, compréhensible et relativement simple à calculer (Brunet *et al.*, 2008).

Alors que, le Nombre de Doses Unitaires (NODU) est indicateur de référence permettant le calcul des quantités totales de substance de pesticide vendues, chacune rapportée à la dose unitaire homologuée spécifique et la surveillance de l'usage des pesticides sur l'ensemble des surfaces agricoles utilisées (Mamy *et al.*, 2008).

Etude Bibliographique

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

Ces deux indicateurs de pression ont été largement utilisés en France dans le Plan Ecophyto 2018, car c'est une stratégie qui vise à réduire l'usage des produits phytosanitaires et leurs périls (Fabre et *al.*, 2015). En outre, la majorité des indicateurs du CORPEN appartiennent aussi à ce groupe et sont utiles pour le suivi des actions correctives au niveaux de l'exploitation, le bassin versant et la région (Alix et *al.*, 2005).

Concernant le second groupe, les modèles d'indicateurs de risque sophistiqués sont souvent intéressantes dans le cas où la de mesure des risques est difficile⁸ (FAO, 2010). En principe, ces indicateurs élaborés se basent sur la notation, c'est-à-dire des notes correspond à un ensemble de propriétés physico-chimiques des substances considérées, puis à des scores qui seront combinés après par une formule pour obtenir un nombre synthétique (un indice) à des fins de comparaison (Damalas, 2014).

Cependant, le troisième groupe regroupe les approches ratio de risque, d'où un croisement entre exposition (concentration prédite dans le milieu) et toxicité (en concentration) (Figure 14).

De nombreux indicateurs ont été développés pour estimer produits phytosanitaires. À cet égard quelques indicateurs sont présentés dans le tableau 11 ci-dessous qui a été préparé depuis les travaux d'Alix et *al.* (2005) ; Kookana et Oliver (2018) et de l'American Farmland Trust (AFT). Ces quelques modèles d'indicateurs environnementales sont les plus pertinentes et utilisés dans l'évaluation des risques liés aux pesticides. Chaque modèle présente un objectif particulier (Questions abordées) avec des besoins typiques, touchants des niveaux environnementales distinctif ou ensemble (eaux de surface, eaux souterraines, air, sols, homme, biodiversité) avec une échelle d'application et d'intérêt (que soit une parcelle, exploitation, région ou même pays). Nonobstant, ces indicateurs présentent des utilités et des contraintes différents, mais la plus part sont construisent et conçues pour l'évaluation des risques de pollution phytosanitaire qui diffuse dans le milieu naturels, surtout dans l'eau (les bassins versants).

⁸ http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/French_Policy10.pdf

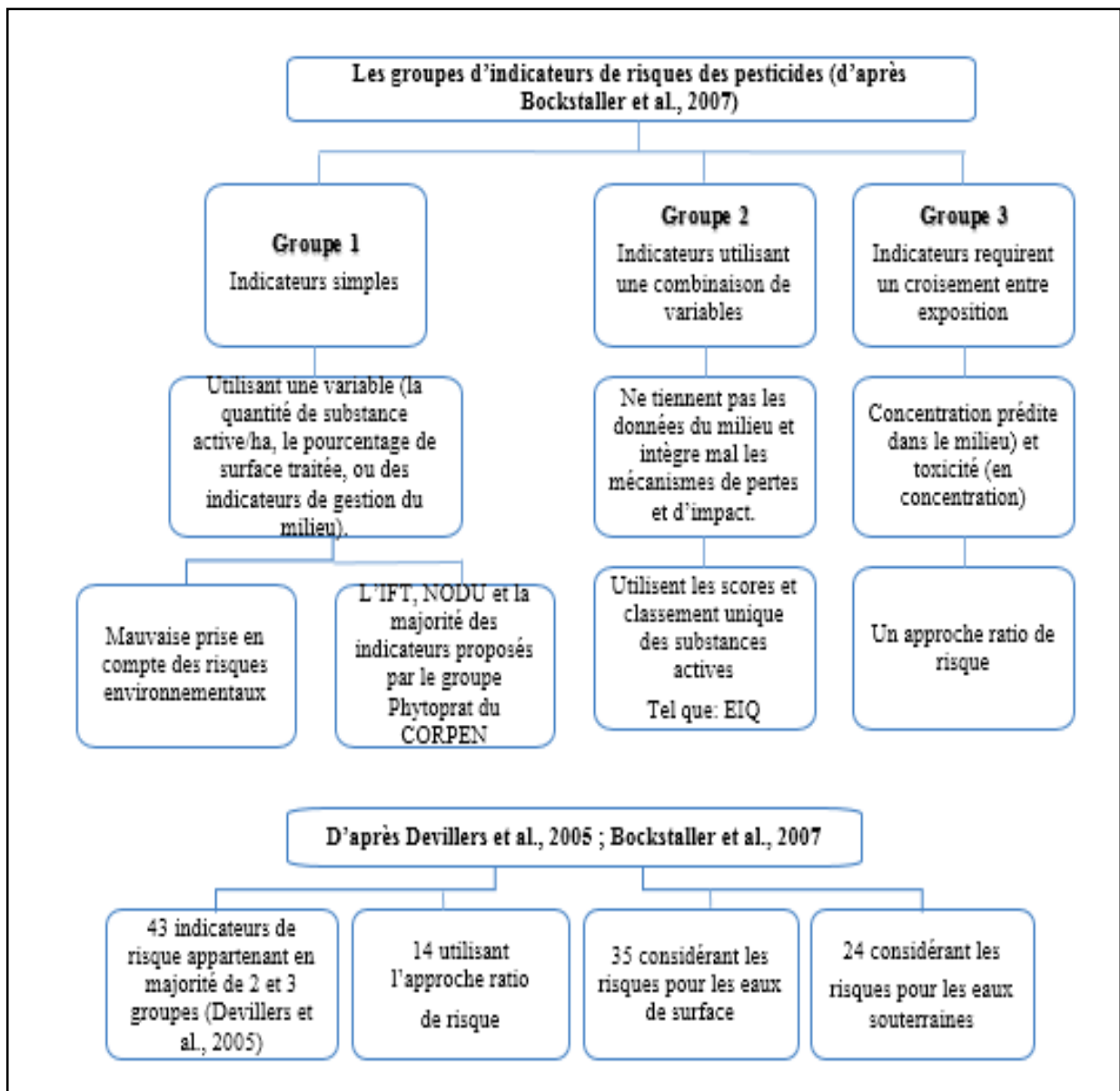


Figure 14 : Schéma des différents groupes d'indicateurs de risques liés à l'usage de pesticides (Synthétisé depuis Devillers et al., 2005 ; Bockstaller et al., 2007).

Etude Bibliographique

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

Tableau 11 : Quelques indicateurs de risque liés à l'utilisation de pesticides (Vercausse et Steurbaut 2002 ; Brown et *al.*, 2003 ; Kookana et Oliver, 2018 ; Alix et *al.*, 2005 ; American Farmland Trust (AFT), consulté le 20/06/2020)

Indicateurs	Désignation	Compartiments de l'environnement	Questions abordées	Échelles abordées
CHEMS1 Chemical Hazard Evaluation for Management Strategies)	Évaluation des risques chimiques pour les stratégies de gestion utilise une méthodologie de classement pour calculer les risques pour la santé humaine et l'environnement.	Eaux de surface, Air, le sol, les eaux souterraines, Homme, Biodiversité	Diagnostic, Aide décision, Risque environnemental, Risque sanitaire	Région Pays
EIQ (Environmental Impact Quotient)	Repose sur une méthodologie de classement pour évaluer les risques environnementaux et sanitaires (travailleurs agricoles, les consommateurs) d'un programme d'application de pesticide particulier.	Eaux de surface, Eaux souterraines, Homme, Biodiversité	Diagnostic, Aide décision, Evaluation pratiques, Risque environnemental	Parcelle
EPRIP (Environmental Potential Risk Indicator for Pesticides)	Développé en Italie, une fois calculée, la concentration environnementale prévue est divisée par les informations toxicologiques pour arriver à un score de risque potentiel.	Eaux de surface, Eaux souterraines, Air, Sol	Diagnostic, Aide décision, Evaluation pratiques, Risque environnemental	Parcelle
EYP (Environmental Yardstick for Pesticides)	Une fois calculées, les concentrations environnementales prévues sont divisées par les informations toxicologiques pour arriver à un score «Point d'impact environnemental».	Eaux de surface, eaux souterraines (via le programme de simulation de lixiviation PESTLA ou PEARL).	Diagnostic, Aide décision, Evaluation politique, Evaluation pratiques, Risque environnemental	Parcelle Exploitation Région Pays
p-EMA (Pesticides - Environmental Management for Agriculture)	Un outil d'aide à la décision informatisé, développé pour soutenir la politique du gouvernement britannique d'optimisation de l'utilisation des pesticides agricoles.	Eaux de surface, Eaux souterraines (via une méta-version du modèle MACRO), Sol, Homme, Biodiversité	Aide décision, Evaluation politique, Evaluation pratiques, Risque environnemental	Parcelle Exploitation

Etude Bibliographique

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

PERI (Pesticide Environmental Risk Indicators)	Modèle Suède utilise une méthodologie de classement pour évaluer le risque environnemental des applications de pesticides.	Eaux de surface, Eaux, souterraines, Air, Sol	Diagnostic, Aide décision, Evaluation pratiques, Risque environnemental	Parcelle Exploitation
SYNOPS_2 (Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel)	Modèle allemand évalue le risque environnemental potentiel d'une stratégie d'application de pesticides.	Eaux de surface, les eaux souterraines (via le programme de lixiviation PELMO), Air, Sol	Diagnostic, Aide décision, Evaluation pratiques, Evaluation programme, action, Risque environnemental	Parcelle Exploitation Région Pays
SyPEP (System for Predicting the Environmental Impact of Pesticides)	Modèle belges, évalue le système de prévision de l'impact environnemental des pesticides.	Eaux de surface, Eaux souterraines	Aide décision, Evaluation pratiques, Risque environnemental	Bassin versant
POCER (Pesticide Occupational and Environmental Risk)	Modèle développée en Flandre (Belgique) dans le but de quantifier les risques potentiels de l'utilisation de pesticides en agriculture pour l'environnement et la santé humaine	Eaux de surface, Eaux souterraines, Sol, Homme, Biodiversité	Diagnostic, Aide décision, Evaluation politique, Evaluation pratiques, Evaluation programme action, Risque environnemental	Parcelle Exploitation

V.4.1.4. La démarche du CORPEN

Le démarche CORPEN (Comité d'ORientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement) s'intéressait à *l'identification des risques de transfert de la pollution de l'eau par les nitrates (1984), les phosphates et les produits phytosanitaires issues de activités agricoles (1992), puis il s'est élargi pour identifier et analyser les différentes pratiques agricoles, formuler et publier des recommandations qui limitent les impacts négatifs sur l'environnement (eau, air et sol)* (Maurizi et Verrel, 2002).

Généralement, la démarche CORPEN se base sur deux types d'outils indispensables :

a. Le diagnostic

Une démarche qualitative et descriptive qui repose sur l'observation afin d'identifier les risques parcellaires de transfert des pollutions d'origines agricole (pesticides, stockage, entretien des pulvérisateurs et gestion des déchets, etc.) (Alix et *al.*, 2005 ; Bariusso, 2004). Tant, à déterminer les actions correctives à réaliser au niveau des parcelles à risques définies et aux échelles supérieures ; une approche globale du raisonnement de la protection des cultures (Alix et *al.*, 2005 ; Bariusso, 2004). Pareillement, d'autres démarches peuvent intervenir pour répondre à l'objectif de réduire les impacts les plus en amonts possible, par exemple l'indice de Gustafson (GUS) pour l'évaluation des risques de lixiviation (Bariusso, 2004). Après, la sensibilité du terrain à la battance, l'hydromorphie, le drainage, la rupture de perméabilité, etc, sont essentielles pour en construire un arbre de décision (Le Doze, 2004).

b. Les indicateurs

Tandis, les modèles de modélisation d'impact des pratiques agricoles développées, les mesures directes in situ sont souvent coûteuses, l'évaluation indirecte exige des prédictions et l'usage de certains indicateurs, ce qui exclut le besoins à des données de terrain (Zahm, 2013).

Une démarche évolutive facile à utiliser, permet de suivre l'efficacité de la réalisation de ces actions, de corrections des pollutions diffuses et ponctuelles.

En effet, la classification modèle Pression-État-Réponse (PER) recommandé par l'OCDE et fortement adapté dans la démarche CORPEN semble intéressante, et permette de déterminer une action qui vise à améliorer les pratiques agricoles et de piloter les systèmes de production (Maurizi et Verrel, 2002 ; CORPEN, 2003).

Etude Bibliographique

Chapitre V. Evaluation des risques et diagnostic environnementales

De la sorte, la figure I.5.8, présente le modèle Pression - Etat - Réponse dans le cas des pollutions de l'eau provenant des activités agricoles (CORPEN, 2003)⁹, autrement :

- Les indicateurs de pression polluante : reposent sur la pression exercée par les activités agricoles sur l'environnement.
- Les indicateurs d'état : comptent le changement des milieux récepteurs.
- Les indicateurs de réponse : *permettent l'évaluation des efforts consentis, la description des méthodes utilisées, degré et l'efficacité de mise en œuvre selon l'objectif et le calendrier* (Maurizi et Verrel, 2002).

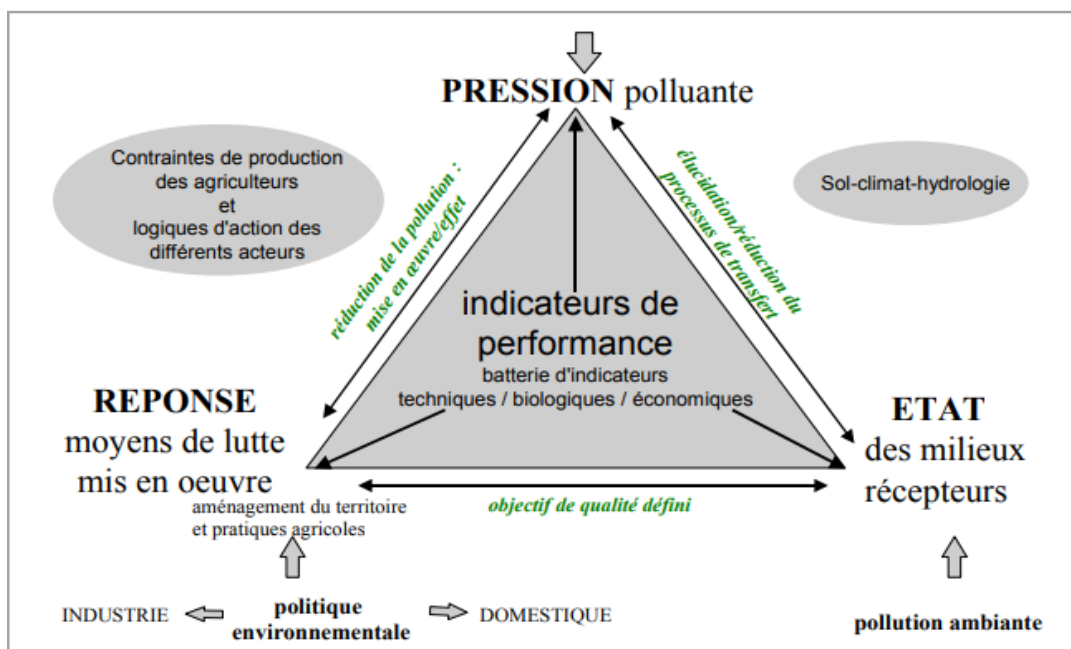
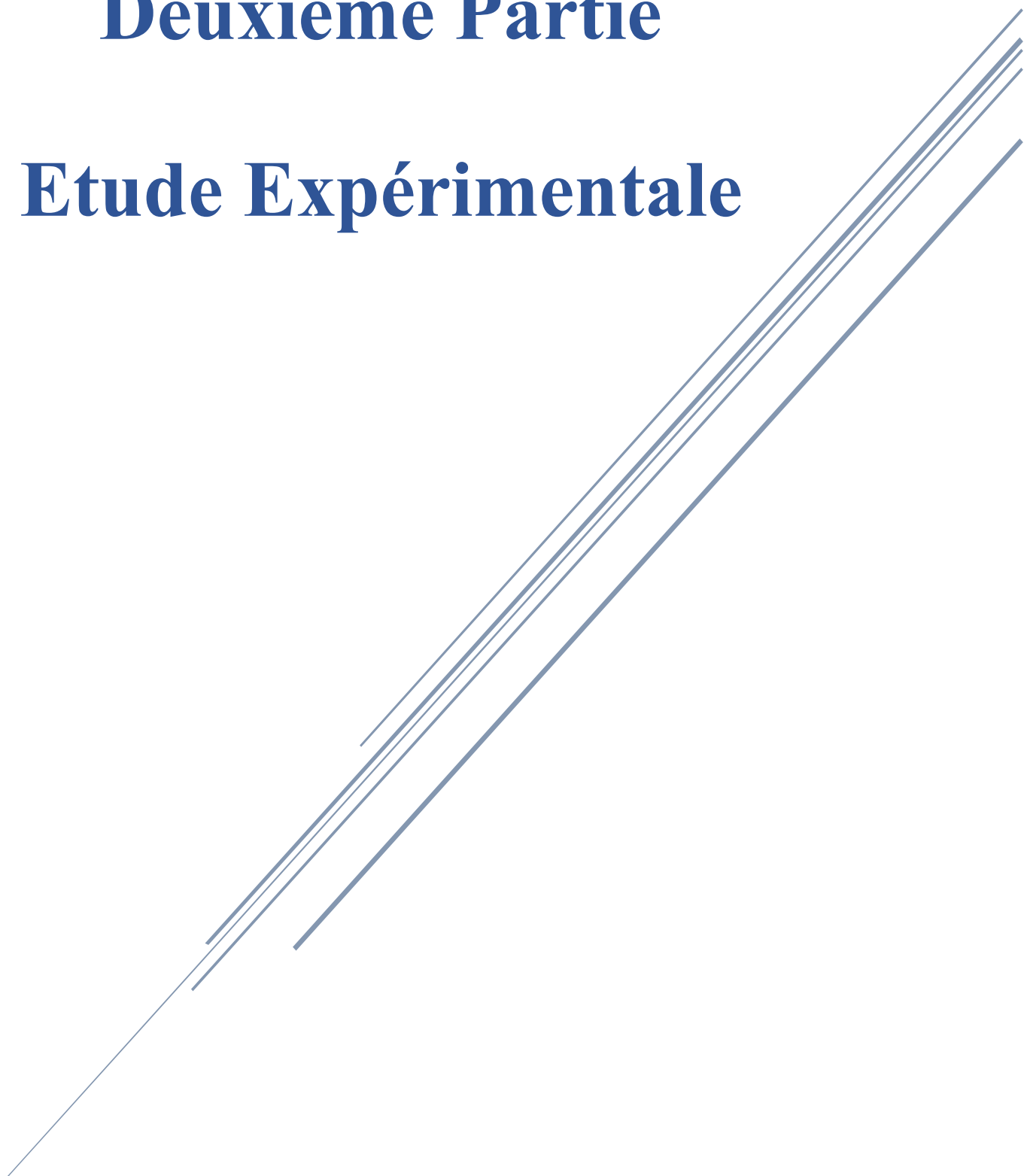


Figure 15 : Une représentation simplifiée de l'approche Pression - Etat - Réponse dans le cas des pollutions de l'eau provenant des activités agricoles (CORPEN, 2003)

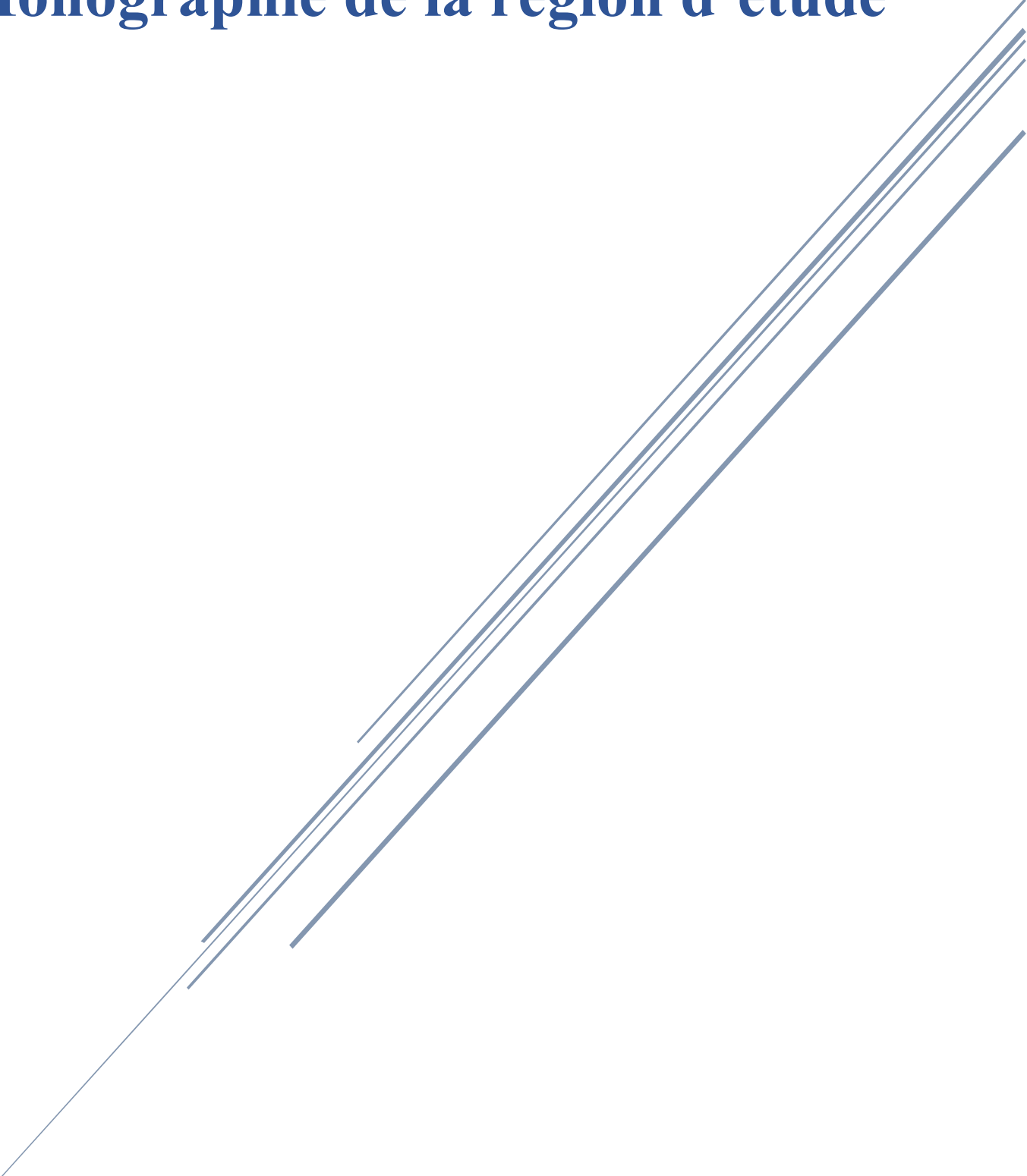
⁹ <http://referentiel.nouvelobs.com/file/776/359776.pdf>

Deuxième Partie

Etude Expérimentale



Monographie de la région d'étude



I.1. Présentation de la région d'étude

I.1.1. Situation géographique de région d'étude

La région de Biskra se situe au Sud-Est de l'Algérie, représente la porte d'entrée du Sahara, et s'étend de la zone du Chott Melghir au Sud-Est jusqu'à l'Erg oriental au Sud-Ouest entre latitude 34° 51' N Nord, longitude 5° 44' Est, occupe une superficie totale de 2 150 980 ha avec une altitude de 125 mètre au-dessus de niveau de la mer (Figure 16) (Sadrati, 2011 ; Monographie, 2015).

Elle est limitée au Nord par la wilaya de Batna, au Nord-Est par la wilaya de Khenchela, au Nord-Ouest par la wilaya de M'sila, au Sud par les Wilayas d'El Oued et d'Ouargla, au Sud-Ouest par la wilaya de Djelfa.

I.1.2. Caractérisation du milieu naturel

I.1.2.1. Cadre géologique

La région de Biskra est une des zones de transition, entre les domaines atlasiques montagneux et plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara septentrional au Sud (Chebbah, 2007). Deux domaines très distincts, séparés par l'accident sud atlasique ou flexure saharienne (Bouchemal, 2017). Elle est formée d'un ensemble de bassins et (ou) sous bassins aligné presque parallèlement Nord-sud (Chebbah, 2007), et les terrains sédimentaires, allant du Barrémien à la base jusqu'au Quaternaire (Sedrati, 2011).

La partie Nord de la région présente l'Atlas saharien, avec un relief de type jurassien sous la forme de plis courts et espacés, creusés sous l'effet de l'attaque du ruissellement, alors que la partie du sud la plaine saharienne se présente comme un piémont sans relief, formée par toute une série de glacis d'érosion modelés par le ruissellement et où se localisent des oasis (Chebbah, 2007).

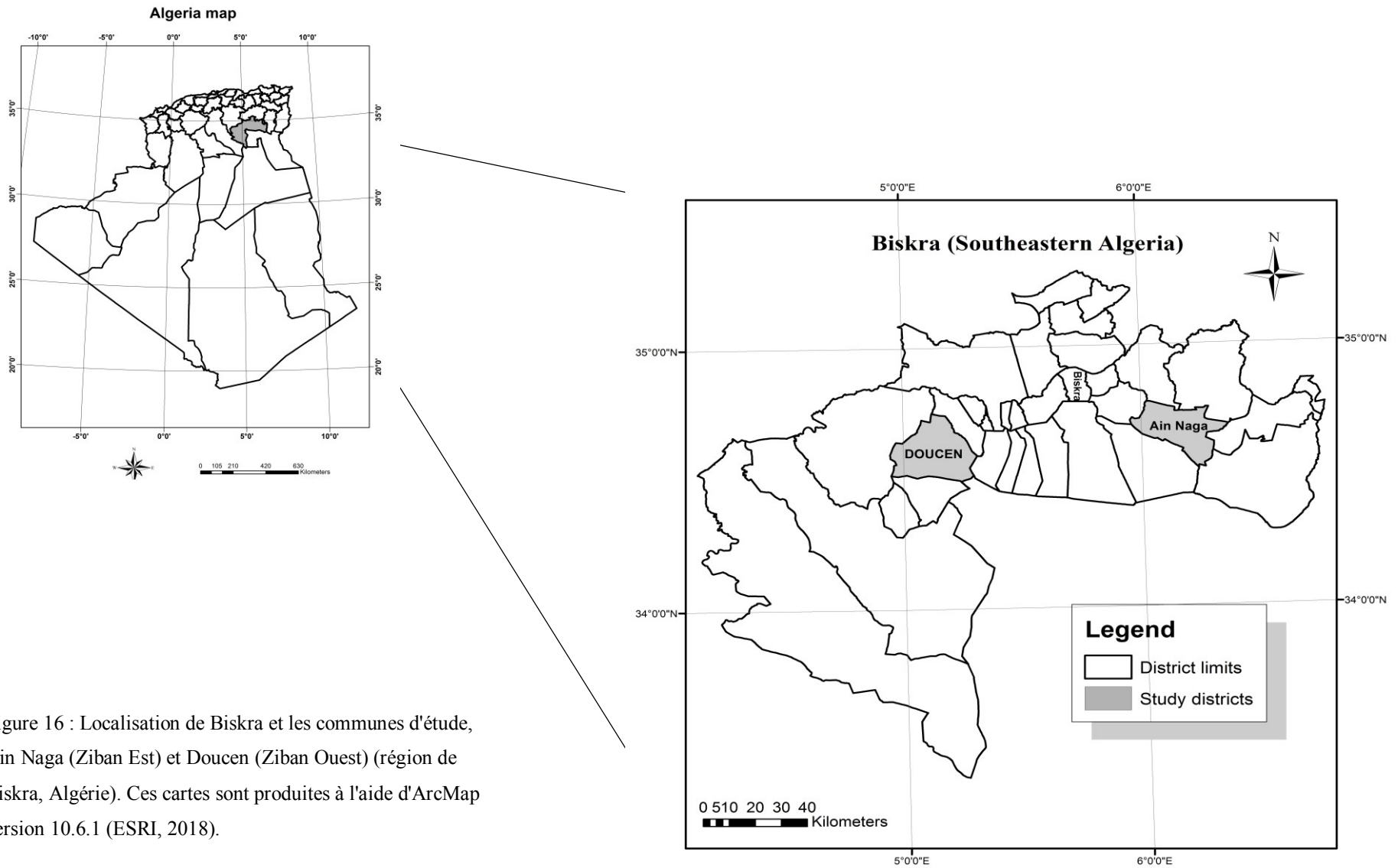


Figure 16 : Localisation de Biskra et les communes d'étude, Ain Naga (Ziban Est) et Doucen (Ziban Ouest) (région de Biskra, Algérie). Ces cartes sont produites à l'aide d'ArcMap version 10.6.1 (ESRI, 2018).

I.1.2.2. Cadre morphologique

La région passe d'un relief assez élevé et accidenté au nord à une topographie de plateau légèrement inclinée vers le sud (Labdi, 2016 ; Bouchemal, 2017). On distingue quatre éléments morphologiques distincts : les montagnes, les piémonts, les plaines et les dépressions (Aïdaoui, 1994 ; Bouchemal, 2017).

Notre étude s'est déroulée dans deux communes : Ain Naga au niveau de la daïra de Sidi Okba au Ziban Est et Doucen au niveau de la daïra d'Ouled Djellal au Ziban-Ouest.

Cependant, la partie Est de la région est caractérisé par une vaste plaine développée et découpée par les lits d'oueds. Dont la plaine occupe approximativement les deux tiers de la superficie et couvrent les daïras d'el Outaya, Sidi Okba et Zeribet el Oued et la commune de Douecn (Monographie, 2010 ; Bouchemal, 2017 ; Rechachi, 2017). Elle se présente en général par une pente douce de la chaîne atlasique aux étendues sahariennes du Sud (Rechachi, 2017).

I.1.2.3. Le réseau hydrographique

Dans l'ensemble, plusieurs travaux ont portés sur l'étude de la région de Biskra, parmi lesquelles nous citons Ould Baba Sy (2005), Chebbah (2007), Bouchemal (2017). Concernant, les oueds qui traversent la wilaya de Biskra, on compte 30 oueds, dont les écoulements sont observés en période de fortes pluies. Ces oueds drainent les eaux pluviales dans la wilaya de la Biskra et les jettent tous dans la grande dépression naturelle de chott Melghir. De la sorte, les plus importantes sont :

- a) Oued Djeddi : avec plus 500 km de longueur avec un axe de drainage d'un bassin versant de 9130 Km². Il collecte les eaux de ruissellement du flanc Sud de l'Atlas Saharien et termine sa course dans le chott Melghir.
- b) Oued Biskra : formé par les deux grands oueds : Oued El Hai et Abdi. Les eaux s'écoulent sur le versant sud du massif des Aurès.
- c) Oued El Arab : avec 150 km de longueur couvre la partie orientale des Aurès de son origine des monts « Djebel Aidel » jusqu'à son exutoire dans la zone dépressionnaire du Chott Melghir.
- d) Oued Abiod : avec 156 km de longueur, avec une forte pente et un rythme irrégulier, dont il se termine dans sa source du barrage de « Foum El Gherza », ensuite l'eau est exploitée pour l'irrigation des Oasis de Sidi Okba et Sérïana.

I.1.2.4. La pédologie

Généralement, la Wilaya de Biskra dispose des sols hétérogènes. D'après Khachai (2001) et Masmoudi (2012), les principales catégories sont :

- La Partie Sud Caractérisée Par Les Accumulations Salées, Gypseuses Et Calcaires.
- La Partie Est Inclue Les Sols Alluvionnaires Et Les Sols Argileux Fertiles.
- La Partie Nord Où Les Sols sont peu-évolués et peu fertiles. En outre, les sols argileux-sodiques se trouvent dans la plaine Nord-Ouest de la région de Biskra.

I.2. Les caractéristiques climatiques de la région d'étude

I.2.1. Climat

Biskra est classée dans la zone à climat aride (Côte, 1980), semi désertique et rigoureux, caractérisé par de grandes différences d'altitudes et d'ensoleillement avec des étés très chauds et secs, et des hivers très froids et secs (Belkacemi, 2019). De ce fait, les paramètres climatiques de notre région d'étude sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Données climatiques de la région de Biskra pour la période de 2007 à 2017 (OMA)

Mois	T.m (°C)	T.M (°C)	T.Moy (°C)	P (mm)	Hr (%)	V (m/s)
Janvier	6,96	18,06	12,51	9,6	56,9	3,53
Fevrier	8	19,32	13,66	5,27	49,63	4,4
Mars	11,35	23,1	17,22	14,24	43,18	4,79
Avril	15,32	27,27	21,29	18,62	41,72	4,58
Mai	19,81	32,65	26,23	11,11	33,72	4,68
Juin	24,66	37,78	31,22	4,65	30,09	4,01
Juillet	28,17	41,3	34,73	0,66	27,55	3,52
Aout	27,04	40,5	33,77	2,2	31,64	3,08
Septembre	23,48	35,09	29,28	19,75	41,64	3,31
Octobre	18,28	29,51	23,89	21,2	46,9	3,17
Novembre	12	22,58	17,29	9,18	53	3,65
Décembre	7,81	18,25	13,03	6,92	58,45	3,72
Moyenne	16,91	28,78	22,84	10,28	42,87	3,87

T.m : moyennes mensuelles des températures minimales.

T.M : moyennes mensuelles des températures maximales.

T.moy : température moyennes mensuelles.

a. Température

La température est un facteur limitant pour la survie des espèces végétales et animales.

La température moyenne sur toute l'année est de 28,78°C avec une forte variation saisonnière. Pour la période 2007-2017, la température maximale enregistrée est de l'ordre de 40,5 °C pour le mois d'Aout et la température minimale est de l'ordre de 6,96°C pour le mois de janvier. Les températures moyennes minimales et maximales ainsi les moyennes (2007-2017) sont présentées sur le tableau 12.

b. Humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air dans la région de Biskra est généralement faible. Une moyenne annuelle égale à 42,87% et une valeur maximale de 58,45 % au mois de décembre, et une valeur minimale de 30,09 % au mois de Juin (Tableau 12).

c. La pluviométrie

Les précipitations se tombent presque toujours sous forme d'averses violentes, les eaux se déversent et se concentrent dans les vallées des oueds, puis le tous se transmettent vers les chotts (chott Melrhir) (Mostephaoui and Bensaid, 2014).

Les précipitations sont très irrégulières souvent mal réparties à presque rares. D'après le tableau 12, les moyennes mensuelles des pluviométries enregistrées sont très faibles, avec une valeur maximale de 19,75 mm au mois de Septembre, une valeur minimale de 0,66 mm au mois de Juillet et une moyenne annuelle égale à 10,28 mm.

d. Vent

Il existe deux types de vents dominant dans la région de Biskra, qui sont :

- Celles du Nord-Ouest qui soufflent en hiver (jusqu'au 150 km/h) et au printemps.
- Celles du Sud-Est dite Siroccos, qui soufflent en printemps et en été, emportant les sables avec elles fréquemment en Mars, Avril et Mai.

Quoique, les vents de secteur Nord à Nord-ouest sont les prédominant allant du mois de Novembre jusqu'au mois de Mai, puis les vents chauds du sud et sec (Sirocco) surtout pendant les mois de Juin, Juillet et Août (Masmoudi, 2009 ; Bettiche, 2017 ; Belkacemi, 2019).

I. Monographie de la région d'étude

Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s) pendant la période 2007-2017 dans la région de Biskra sont des valeurs considérablement proches, avec une moyenne annuelle égale à 3,87% et une valeur maximale de 4,79 % au mois de Mars, et une valeur minimale de 3,08 % au mois d'Aôut (Tableau 12).

I.2.2. Synthèse climatique

I.2.2.1. Diagramme ombrothermique de Gausson

Le diagramme ombrothermique de Gausson pour la région de Biskra établit en fonction des données climatiques (température et précipitation) de la période 2007-2017, montre que la saison sèche s'étale toute l'année, comme illustre la figure 17.

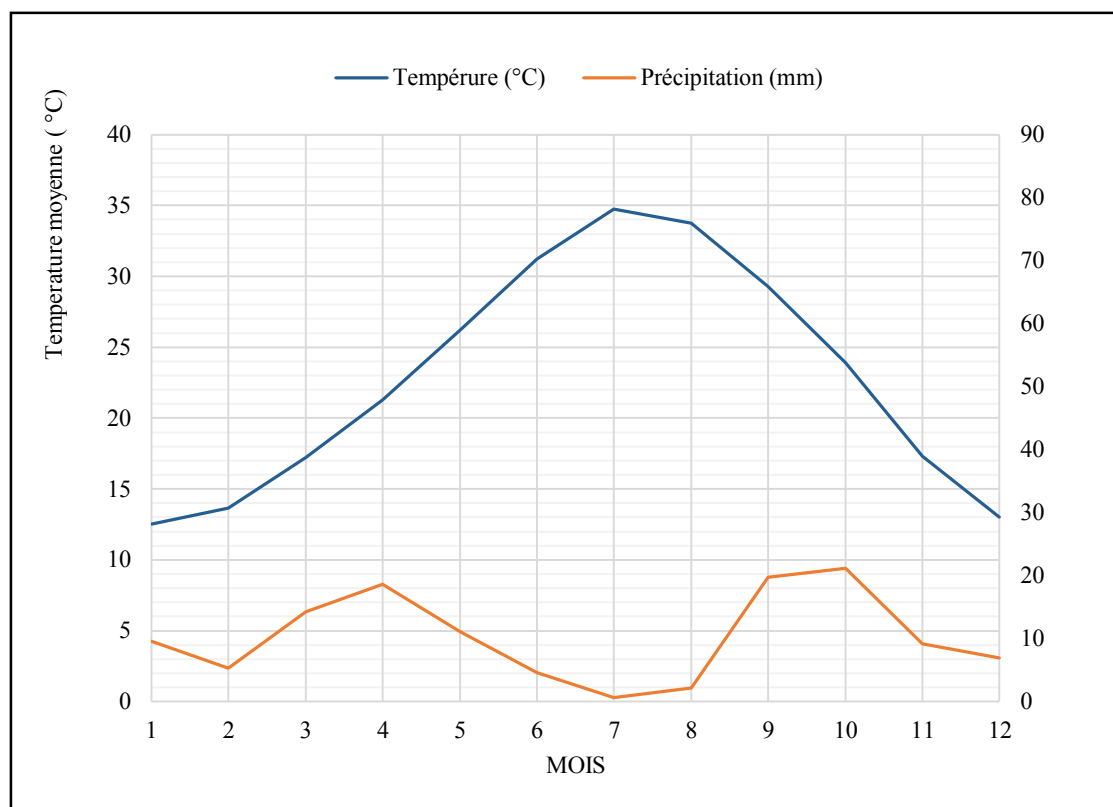


Figure 17: Le diagramme Ombrothermique de Gausson pour la région de Biskra (2007-2017)

I.2.2.2. Le climagramme d'EMBERGER

Le climagramme d'EMBERGER nous a permis de déterminer l'étage bioclimatique de la région de Biskra, en appliquant la formule élaborée par STEWART (1968) pour l'Algérie et le Maroc.

La formule est : $Q2 = 3.43 (P/M-m)$, dont :

I. Monographie de la région d'étude

- P: précipitation annuelle (mm)
- M: la température maximale du mois le plus chaud en °C
- m: la température minimale du mois le plus froid en °C

D'après les données climatiques de la région de Biskra durant la période 2007-2017 :

$P= 123,40$; $M= 40,16$; $m= 6,96$; $Q= 3,43 * 127,96 / (40,16 - 6,96)$; donc : $Q= 12,75$.

C'est ainsi que, d'après le climagramme d'EMBERGER de la région de Biskra se situe dans l'étage bioclimatique Saharien caractérisé par un hiver doux et chaud (Figure 18).

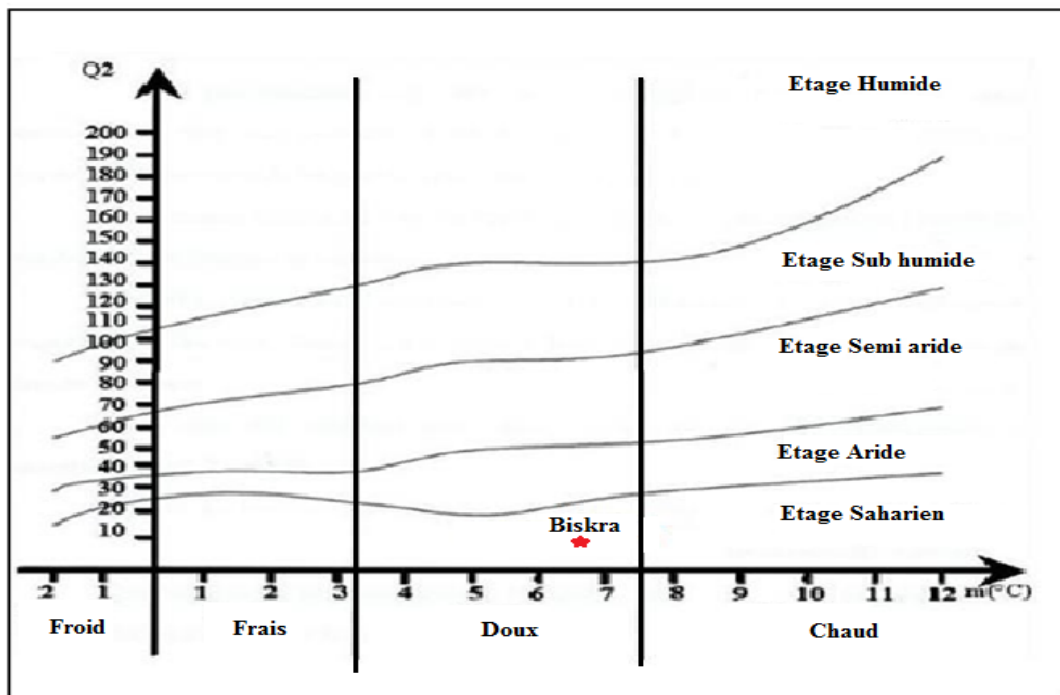
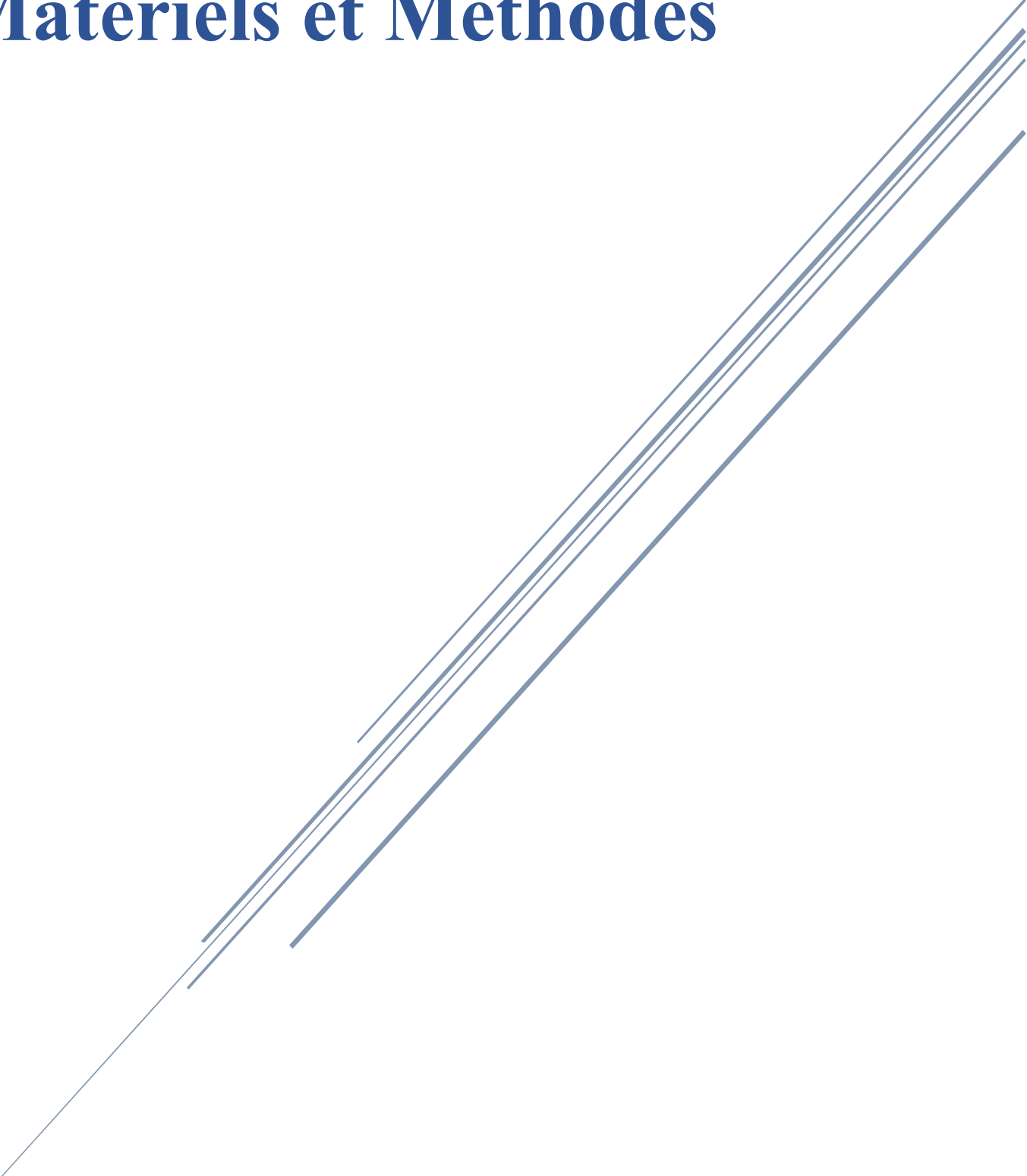


Figure 18 : Le climagramme d'EMBERGER de la région de Biskra durant la période 2007-2017

Matériels et Méthodes



II.1. Introduction

Le présent chapitre, décrit la méthodologie conçue pour la collecte des données de terrain, évaluation des risques environnementaux, et enfin analyse et le traitement des données obtenues.

II.2. Localisation géographique et choix des sites d'enquêtes

La région de Biskra (Figure 19) se situe au sud des monts des Aurès (soit 130 km de longueur d'Ouest en Est, sur 40 km de largeur) ce qui lui offre un critère d'une zone tampon entre le Tell et le grand Sud (Farhi, 2002). Elle regroupe deux importantes entités, qui sont le Ziban Est dit « Zab Chergui » à l'Est et le Ziban Ouest dite « Zab Gherbi » à l'Ouest.

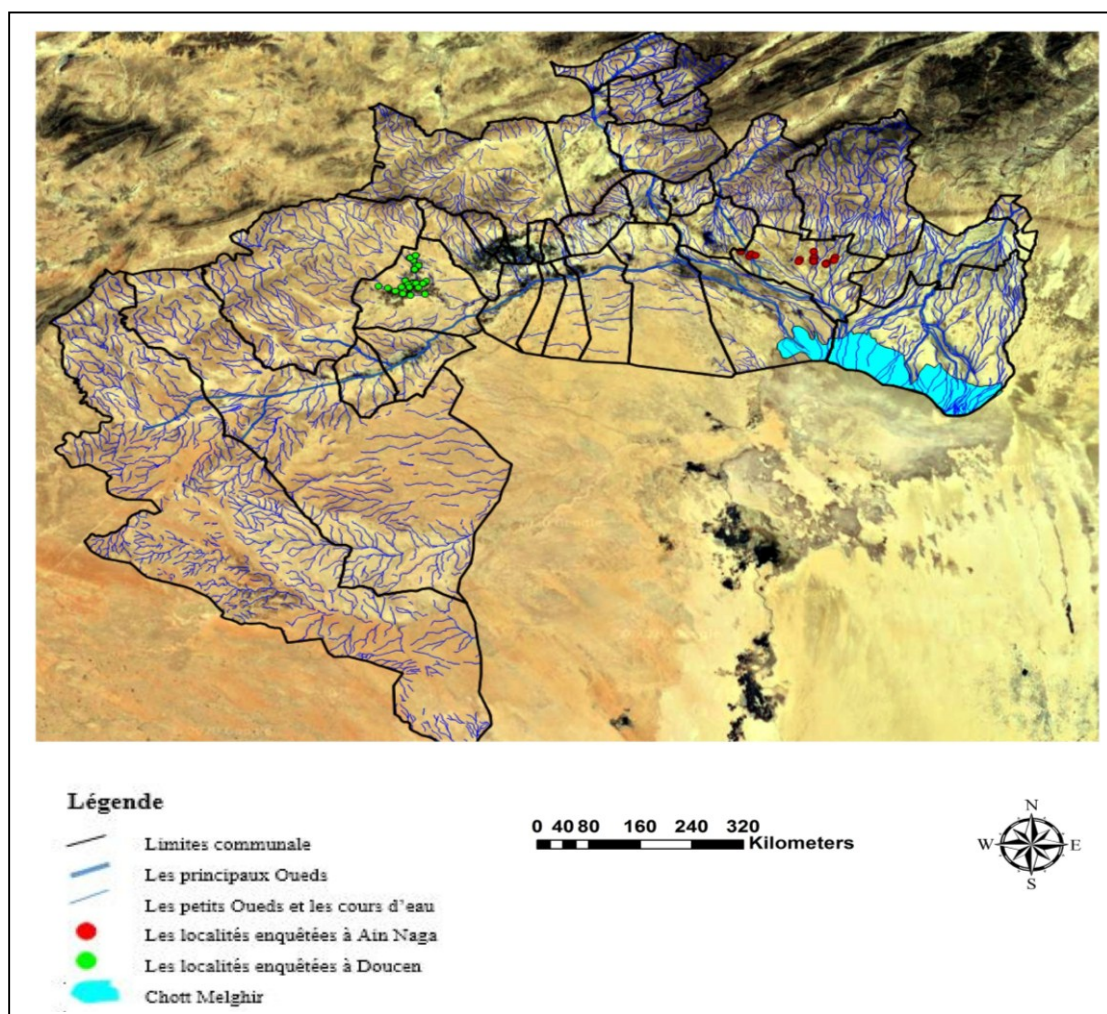


Figure 19 : Situation géographique et réseau hydrographique de la région de Biskra et des communes d'étude (Source Google Earth, 2018)

Cette position géographique a aidé au développement de plusieurs types de cultures autres que la culture phoenicicole. Un développement inaccoutumé s'est marqué par diverses cultures notamment le maraichage de (sous-serres et plein champs) conduites en irrigué et pratiquées à travers les 33 communes de la wilaya de Biskra. Le déverrouillage de deux facteurs de production, le sol et l'eau a contribué largement à l'immense augmentation des superficies des cultures maraichères, particulièrement celles conduites en intensif (Hartani et *al.*, 2014 ; Ouendeno, 2014 ; Belhadi et *al.*, 2016).

II.2.1. Choix des sites d'enquêtes

Pour le besoin de notre travail, les communes d'Ain Naga (Ziban Est) et de Doucen (Ziban Ouest) ont été sélectionnées pour être la scène de cette étude. Ces communes se classent parmi les communes pôles en production et fourniture de produits maraîchers frais pour un grand nombre de marchés du territoire national.

Les potentialités agricoles des deux communes d'étude sont présentées dans le tableau 13. Il semble que, le nombre d'exploitations en irrigué est considérable à Ain Naga et à Doucen. Egalement, la superficie physique irriguée (à partir des eaux souterraines) et la superficie irriguée en générale sont aussi beaucoup importantes à Ain Naga (soit 9 698 ha en 2009 et 12 723 ha en 2013) qu'à Doucen (soit 6 449 ha en 2009 et 7 705 ha en 2013) (Tableau 13).

Cela se manifeste bien lorsqu'on fait une comparaison entre la superficie des cultures maraichères pratiquées en irrigué à Ain Naga et les besoins en eau étant élevés (soit 2 322 m³/an pour 3 105 ha) et ceux de la commune de Doucen qui sont de 1 406 m³/an pour 1 547 ha (Tableau 13).

On signale que, durant la campagne agricole 2017/2018, la commune d'Ain Naga, disposant de 12 765 serres, a enregistré une production maraichère de l'ordre de 120 169 (Qx) sur une superficie de 2 500 (ha). Alors que, la commune de Doucen, comptant 1 220 serres, a enregistré 690 540 (Qx) de production maraichère sur une superficie de 3 207 (ha) (Tableau 14). En outre, il est opportun de mentionner que le choix de ces deux communes n'est pas basé seulement sur les statistiques agricoles ; mais aussi, la localisation géographique est prise en considération, surtout par rapport aux réseaux hydrographiques. Parce que, si on tient en compte les caractéristiques spécifiques des produits phytosanitaires, le transfert des résidus vers les eaux souterraines semble parfaitement possible à se produire dans ces communes, c'est ce qu'il paraît très intéressant à évaluer.

Tableau 13 : Les potentialités spécifiques pour les communes d'Ain Naga (Ziban Est) et de Doucen (Ziban Ouest) (Sogreah, 2009 ; DSA, 2013).

Commune	SAT Totale (ha)*	SAU Totale (ha)*	Nombre d'exploitation en irrigation	Zone géographique d'irrigation (PMH)		Zones d'irrigation individuelles		Superficie physique irriguée à partir des eaux souterraines (ha)	Superficie irriguée (ha)*	Besoin en eau (m3/an)	Maraichage en irrigué (ha)
				Nombre	SAU Physique (ha)	Nombre	SAU Physique (ha)				
Ain Naga	44 560	25 150	1 349	6	9 698	5	9 514	9 698	12 723	2 322	3 105
Doucen	46 348	8 484	2 450	7	6 449	6	6 409	6 449	7 705	1 406	1 547

* : Source direction des services agricole (DSA)- Biskra - campagne 2013/2014.

Tableau 14 : Communes pôles serristes dans la wilaya de Biskra

Localisation géographique	Daïras	Communes	Nombre des agriculteurs*	Nombre des exploitations*	Nombre de serres*	Superficie maraichage (ha) **	Production maraichère (Qx) **
Ziban Est	Sidi Okba	Ain Naga	2 553	1 303	12 765	2 500	120 169
	Z'ribet Eloued	M'ziraa	1 254	447	6 270	3 225	2 397 325
Ziban Ouest	Tolga	Tolga	385	221	1 926	488	402 069
	Foughala	El-Ghrous	537	241	2 684	880	761 855
	Ouled Djellal	Doucen	641	443	3 207	1 220	690 540

* : Source Chambre agricole (CAW) - Biskra - campagne 2016/2017.
 ** : Source Direction des services agricoles (DSA) - Biskra - campagne 2017/2018.

a. La commune d'Ain Naga

La commune d'Ain Naga, fait partie du territoire de la daïra de Sidi Okba, se situe au niveau du Ziban Est de la wilaya de Biskra avec une superficie de 50.780.00 km² (Figure 20). Elle est limitée par les communes : Mchouneche et Mziraa au Nord, Elhaouche et Elfeidh au Sud, Elfeidh et Zeribet Eloued à l'Est, Sidi Okba et Elhaouche à l'Ouest (Monographie, 2015)).

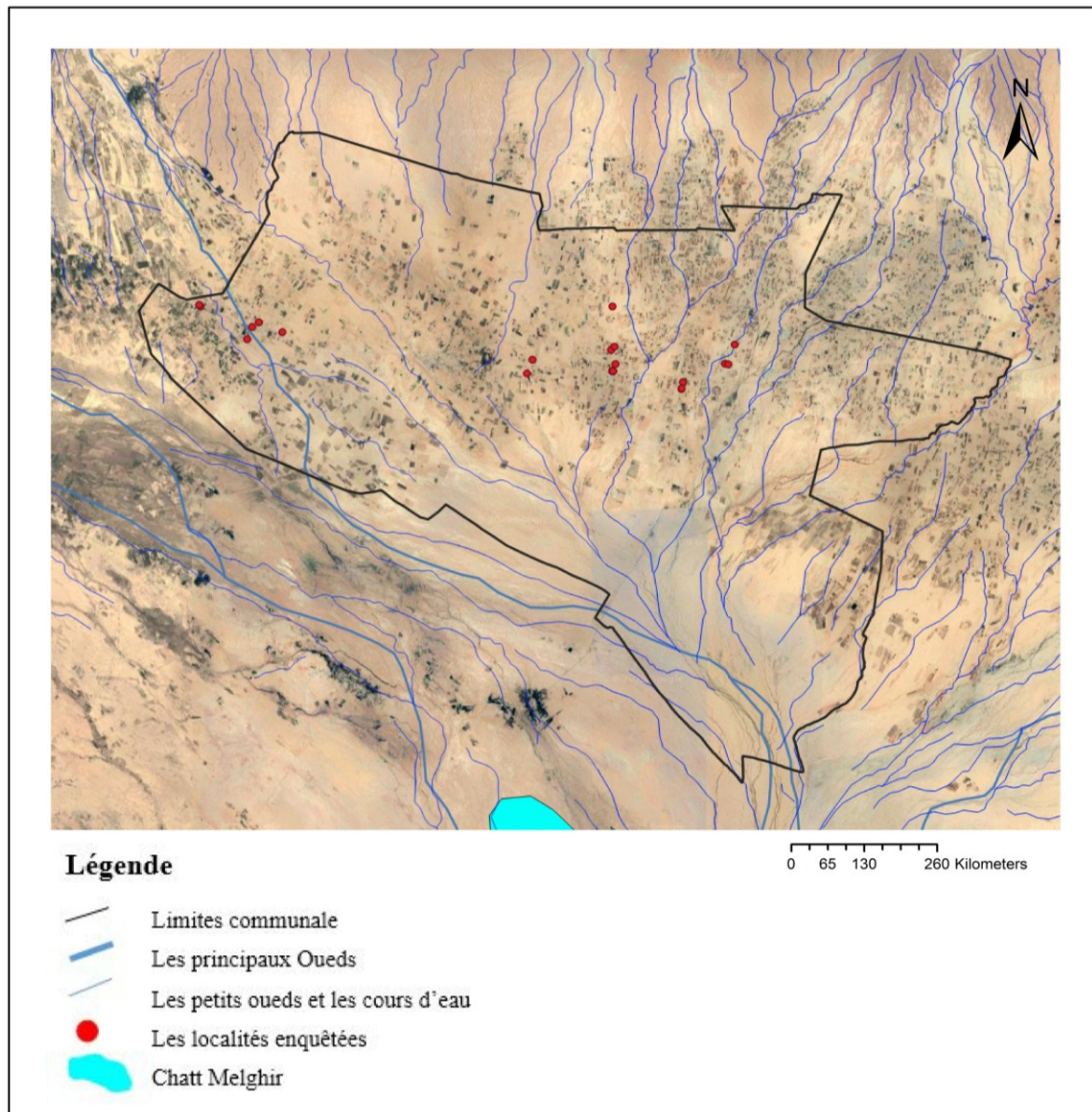


Figure 20 : Carte des emplacements sites d'enquêtés à Ain Naga (Ziban Est, Biskra)

(Source Google Earth, 2018)

b. La commune de Doucen

La commune de Doucen au Ziban Ouest (latitude 34° Nord et longitude 5° Est) se situe à 80 km du siège de la wilaya de Biskra et à 20 km de celui de la circonscription administrative Ouled Djellal. Elle s'étend sur une superficie de 629.43 km² (Figure 21). Elle est limitée au Nord et à l'Ouest par la commune de Chaaiba, au Sud par les communes d'Ouled Djellal et de Still, à l'Est par la commune d'El-ghrous (Hafnaoui, 2009).

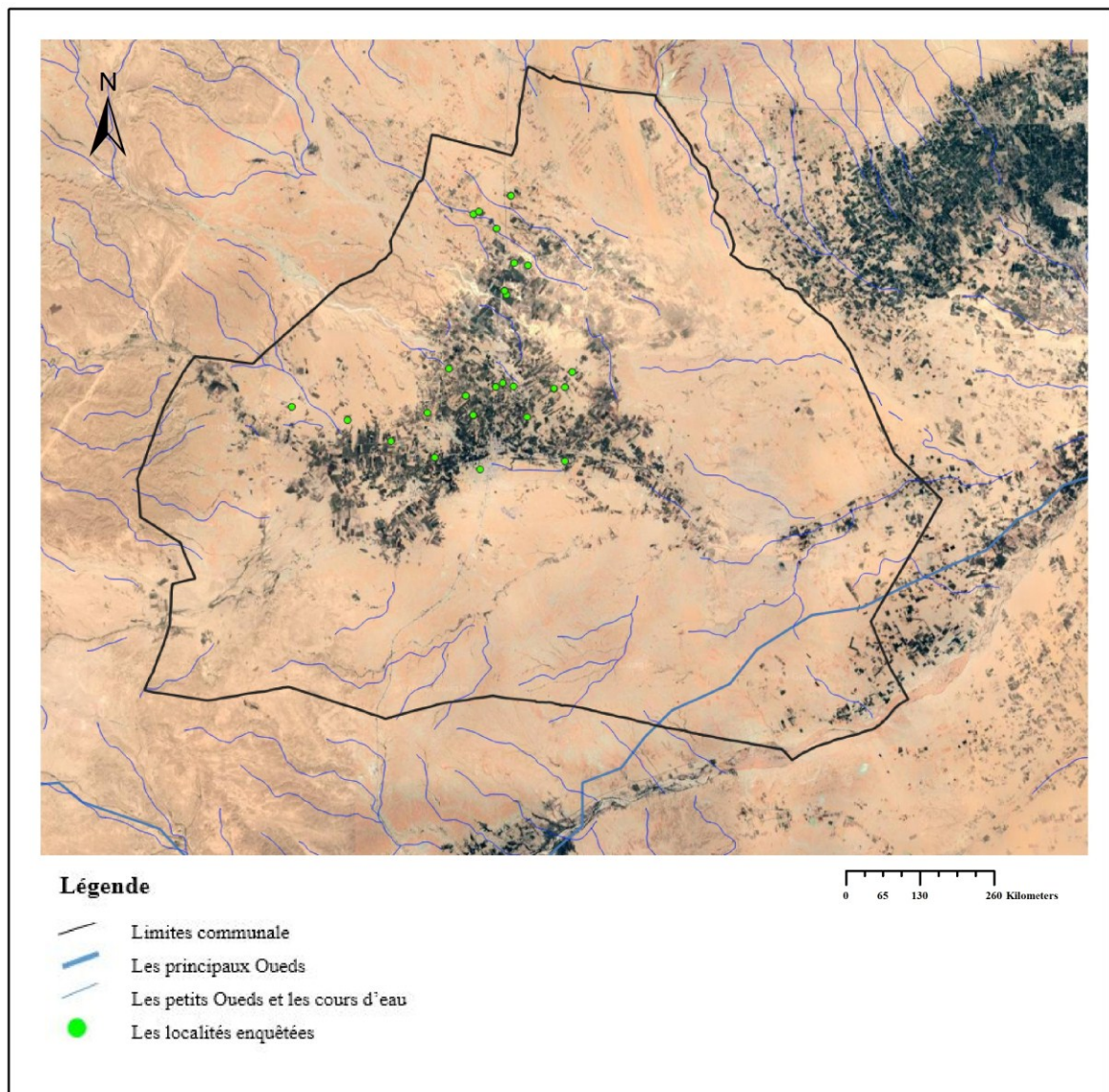


Figure 21 : Carte des emplacements des sites d'enquêtes à Doucen (Ziban Ouest, Biskra)
(Source Google Earth, 2018)

Globalement, l'infiltration des substances actives, vers les profondeurs est en fonction des caractéristiques du sol, la pente, la topographie et les caractéristiques du climat (surtout la pluie).

La région de Biskra a bénéficié d'un bassin hydrogéologique avec des formations perméables facilitant la circulation souterraine des eaux (Aidaoui, 1994). Malgré cela, les eaux souterraines sont restreintes au Ziban Est, ce qui a encouragé l'exploitation des eaux de ruissellement à Sidi Okba, Ain Naga et M'zirâa. Autrement dit, profiter de l'épandage des Oueds (Oued Biraz, Oued Abiod Et Oued Melah) et des lâchers à partir du barrage de Fom el Guerza) (Hammamouche et *al.*, 2015).

Il se trouve que, la plaine de Ziban Est présente une richesse en apports de limoneux de crues d'oueds (Aidaoui, 1994), soient des formations superficielles limons- sables et débris végétaux. Tandis que, les alluvions récentes sont limoneuses et imperméables depuis le Sud de Sidi Okba jusqu'à El Feidh (Aidaoui, 1994). Contrairement, à la vaste plaine du Ziban Ouest disposant des sols fertiles, argilo-calcaires et d'un réservoir important d'eau souterraine, proche de la surface. En outre, les alluvions sont très argileuses et large, les oueds inondables sont répandus loin des lits anciens (Aidaoui, 1994), c'est alors que la commune de Doucen risque l'inondation répétée d'Oued Tamda, conformément à Hafnaoui (2009) et Driouche et *al.* (2013).

À la suite, il faut signaler que le boom socio-économique du secteur agricole en particulier de la filière maraichage pratiquée dans la région de Biskra a beaucoup augmenté les besoins en eaux, ce qui a contribué rapidement à la détérioration de la qualité de certaines ressources en eaux (Kheliel, 2018). Ici, il paraît important de mentionner que les exploitations agricoles enquêtées sont à proximité des principaux oueds et un nombre élevé des affleurements des petits oueds. L'emplacement des communes choisies et plus particulièrement les sites visités favorise l'hypothèse du transport des polluants par le biais de l'eau et la contamination de l'environnement. D'ailleurs, Bouchemal (2017) a détecté un excès de la concentration des nitrates, du manganèse et de l'ammoniac dans quelques forages à proximité des terrains agricoles à Biskra, à cause de l'usage incessant des intrants chimiques (engrais et pesticides). C'est alors que, les investigations menées, et le choix aléatoire des agriculteurs nous a permis de (i) visiter dix-huit sites réparties dans chaque commune et (ii) de couvrir une superficie totale de 1 148,83 ha, dont 907,74 ha à Ain Naga et 241,09 ha à Doucen, comme expose le tableau 15.

Tableau 15 : Répartition de sites visités par commune

	Les communes d'enquêtées	
	Ain Naga	Doucen
Sites d'enquête	Alb Ghenim	Berouth
	Choucha	Chouiter
	Dhibia	Draa Belamri
	Djalaya	Draa R'mal
	Elhamra	Elamri
	Feidh Sala	Elmaleh
	Ghemoug	Elmerhoum
	Horraya	Hai Elgame
	Lamnissaf	Khafoura
	Mabdouaa	Louzen
	Mansoria	Matbakh Kdar
	Methnane	Megader Soltane
	Nebka	Mhissar
	Safl Tadjdid	Noumer
	Bel M'rimet	Tamda
	Sidi Salah	Elguataa
	Tabet Chanouf	Maather Khaira
	Zemoura	Douisse
Total	18	18

II.2.2. La communauté d'étude

Au total, 96 agriculteurs maraichers (en plein champs ou en plasticulture) ont été enquêtés, dont 47 agriculteurs répartis au niveau de la commune d'Ain Naga, contre 49 agriculteurs au niveau de la commune de Doucen. Seuls les phoeniculteurs sont exemptés de l'enquête, en raison que l'emploi des produits phytosanitaires en est beaucoup faible ou rare, mais souvent la lutte chimique est pratiquée contre le Boufaroua (*Oligonychus afrasiaticus*) du palmier dattier.

Par ailleurs, 20 grenetiers et vendeurs de produits phytosanitaires, les plus sollicités par les agriculteurs enquêtés, ont été interrogés aussi, en raison qu'ils représentent la source principale de ces produits et des informations techniques.

II.3. Méthodologie de la collecte des données de terrain

II.3.1. Elaboration du questionnaire

L'enquête a été réalisée à l'aide d'un questionnaire soigneusement conçu pour cette étude. Il comporte au total soixante (60) questions faciles à comprendre et à répondre sans ambiguïté par les participants, de types : ouvertes, semi-ouvertes et fermées.

La réponse au questionnaire a été structurée selon quatre modèles : 1) Oui, ou Non ; 2) Jamais, Toujours, des fois" ; 3) Choix de réponses multiples ; 4) Réponses par des mots nominales, ou par des chiffres. La langue arabe locale a été utilisée pour la communication lors de l'enquête.

Ultérieurement, l'analyse des données et des informations qualitatives extraites du questionnaire a permis de sortir deux parties principales, qui sont :

a. Cultures maraichères, protection phytosanitaires

La première partie, compte des variables qui traduisent la nature et les caractéristiques des exploitations agricoles, en ce qui concerne : la nature juridique des terres, le type de sol et le mode d'irrigation, les superficies cultivées, les types de productions, les pratiques phytosanitaires, les majeures contraintes phytosanitaires et les PPPs appliqués.

Les questions relatives à cette partie sont numérotées : de 07 à 19.

b. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque chez les maraichers

La deuxième partie, est dédiée aux variables qui interprètent le savoir professionnel et les activités agricoles de l'agriculteur concernant l'usage des produits phytosanitaires ; les questions sont réparties comme suit :

- ✓ Les informations sociodémographiques de l'agriculteur : de 01 à 06.
- ✓ L'attitude et la manipulation de l'agriculteur des pesticides : de 20 à 31
- ✓ La connaissance de l'agriculteur sur les maladies et les dégâts sur les cultures : de 32 à 39.
- ✓ La connaissance de l'agriculteur concernant les produits phytosanitaires : de 40 à 48.
- ✓ Précautions et perception du risque de l'agriculteur : de 49 à 56.
- ✓ Opinion de l'agriculteur concernant les menaces potentielles de pesticides sur la santé humaine et l'environnement : de 57 à 60.

II.3.2. Le déroulement de l'enquête

Les visites au niveau des exploitations d'Ain Naga (Ziban-Est) et de Doucen (Ziban-Ouest) ont été menées de façon aléatoire. L'enquête s'est déroulée du 26 Octobre 2016 jusqu'à la fin du mois de Décembre 2017.

Les agriculteurs ont été enquêtés au niveau de leurs terrains tôt le matin, individuellement, directement, et volontairement. Toutefois, par défaut du temps, et pour ne pas les déranger ou interrompre leurs travaux quotidiens, nous avons demandé la permission des participants afin de filmer des vidéos et d'enregistrer des audios lors du questionnaire. Plus tard, la matière enregistrée et filmée sera dépouillée dans le formulaire du questionnaire correctement au propre.

II.3.3. Le dépouillement des informations de l'enquête et le traitement des données

Toutes les informations collectées ont été saisies et codifiées puis traitées et analysées au moyen du logiciel " SPSS version 24 (Figure 22), et du Microsoft Excel 2013.

Les statistiques descriptives établies ont été rapportées sous forme de tableaux de distribution, fréquences et pourcentages, et de graphes illustratifs, puis sont exploitées dans les deux premières parties de cette étude.

Alors que, les pesticides recensés ont été vérifiés dans l'index national des produits phytosanitaires à usage agricole (édition 2015).

Les substances actives, les familles chimiques et les classes de toxicité OMS ont été identifiées, par rapport à différentes bases. Telles que : la base de données des propriétés des pesticides (PPDB), la classification recommandée par l'OMS 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.

	Q1Localité	Q2nometprénom	Q2genre	Q3age	Q3plageage	Q4niveau descolaire	Q5formati onagricol e	Q6expérience	Q6aplage expérience	Q7statut	Q8typedesol	Q9superficie	Q10ouvra gelydraulique	Q11se
16	Horraya	Mridja Abdelkrim	Male	45	30-48	Primaire	non	10	03 - 10	Autres	Limoneux	7,23	Forage	
17	ALB GHENIM	ZIDANE MILOUD	Male	56	50-65	Alphabète	non	30	25-33	Privé	Sableux-li...	12,34	Forage	
18	ALB GHENIM	MEBARKI SALAH	Male	63	50-65	Alphabète	non	40	40-50	Privé	Sableux-li...	10,00	Forage	
19	LAMNISEF	KAMLI MOSTFA	Male	56	50-65	Alphabète	non	23	12 - 20	Privé	Sableux-li...	10,00	Forage	
20	Tabet chanouf	Benchouia Mohamed	Male	70	70-81	Alphabète	oui	50	40-50	Autres	Sableux-li...	40,00	Forage	
21	MABDOUAA	Dridi Aissa	Male	57	50-65	Alphabète	non	31	25-33	Autres	Sableux-li...	50,00	Forage	
22	Horraya	Agriculteur Hamza	Male	50	50-65	Alphabète	non	29	12 - 20	Autres	Limoneux	7,50	Forage	
23	LAMNISEF	CHARMAT SAID	Male	86	70-81	Alphabète	non	55	40-50	Privé	Sableux-li...	30,00	Forage	
24	MABDOUAA	HADDOUF ABDELALI	Male	32	30-48	Secondaire	oui	7	03 - 10	Autres	Sableux-li...	31,50	Forage	
25	Mansoria	HRAKI AZZEDDINE	Male	51	50-65	Primaire	non	18	03 - 10	Privé	Limoneux	25,00	Forage	
26	CHOUCHA	TAYAG MEBAREK	Male	73	70-81	Alphabète	non	40	40-50	Privé	Sableux-li...	20,00	Forage	
27	SAGUYET B...	HASSANI LARBI	Male	55	50-65	Alphabète	non	20	12 - 20	Privé	Sableux-li...	40,00	Forage	
28	ZEMOURA	RAFRAFI ABDELMADJID	Male	52	50-65	Universitaire	oui	20	12 - 20	Privé	Sableux-li...	43,81	Forage	
29	DJELAYA	LAIFA SADIK	Male	49	30-48	Primaire	non	15	03 - 10	Privé	Limoneux	24,48	Forage	
30	Horraya	AZEIZ AZZOUZ	Male	61	50-65	Alphabète	non	29	12 - 20	Autres	Limoneux	24,80	Forage	
31	Tabet chanouf	NACIEB SABER	Male	40	30-48	Secondaire	non	8	03 - 10	Privé	Sableux-li...	30,29	Forage	
32	Nebka	MANSORI YASSINE	Male	47	30-48	Secondaire	non	6	03 - 10	EAI	Sableux-li...	29,07	Forage	
33	Mansoria	MERABET MED YASSINE	Male	74	70-81	Alphabète	non	42	40-50	Autres	Limoneux	51,47	Forage	
34	Horraya	BENZINE AISSA	Male	79	70-81	Alphabète	non	56	40-50	Privé	Limoneux	14,51	Forage	
35	MABDOUAA	ABBASSI MOHAMED SA...	Male	39	30-48	Secondaire	oui	9	03 - 10	Autres	Sableux-li...	20,40	Forage	
36	ALB GHENIM	BENZIYADI AMHAMED	Male	70	70-81	Alphabète	non	45	40-50	Privé	Sableux-li...	26,19	Forage	
37	Sidi Salah	BENZINE SALAH	Male	47	30-48	Primaire	non	15	03 - 10	Autres	Sableux-li...	24,22	Forage	

Figure 22 : Capture d'écran des données du questionnaire saisies et codées à l'aide du logiciel SPSS ver. 24.

II.4. Méthodologie de l'évaluation des performances environnementales du système de culture maraichère

II.4.1. Présentation de l'indice de fréquence de traitement (IFT)

L'indice de fréquence de traitement (IFT) a été développé dès les années 80 au Danemark, en réponse à l'utilisation croissante des pesticides de faible poids en usage et non reflété dans les statistiques de quantité danoises (Pingault, 2007). Plus tard, le MAP¹ et l'INRA ont adaptés la méthode de calcul de l'IFT au contexte français (Champeaux, 2006). L'application de cet outil simple et maniable sert à évaluer la politique générale de réduction des risques liés aux pesticides, ce qui permet aussi de mesurer l'évolution annuelle de la pression phytosanitaire au niveau local et national (Pingault, 2007 ; Brunet *et al.*, 2008 ; Dessaint, 2014 ; Juan et Voltz, 2018).

II.4.1.1. Calcul de l'indice de fréquence du traitement phytosanitaires (IFT)

L'indice de fréquence de traitement (IFT) est calculé à partir des doses homologuées des produits phytosanitaires et les doses appliquées réellement à l'hectare et sur la cible, suivant l'équation n° 01.

$$IFT = (Dose\ appliquée / Dose\ homologuée) \times (Surface\ traitée / Surface\ totale\ parcelle) \quad (1)$$

Dans le cas de multiples doses homologuées pour des bioagresseurs différents et des substances actives, on va pour choisir la dose homologuée minimale (Pingault *et al.*, 2009). A l'exception des traitements de semences, les adjuvants extemporanés et les phytoprotecteurs, l'indice d'IFT peut être calculé selon les différentes segmentations², soient type de traitement, type de produit, catégorie d'usage, et sur petit à grand échelle, que ce soit une parcelle (Eq. 2), un ensemble de parcelles, ou une exploitation agricole (Eq. 3) ou un territoire (Brunet *et al.*, 2008 ; Pingault *et al.*, 2008).

$$IFT\ parcelle = \sum_t (IFT * Surface\ parcelle) / PST \quad (2)$$

Dont t : les traitements réalisés ; PST : la proportion de surface traitée.

¹ Ministère de l'agriculture et de la pêche

² Guide méthodologique : Indicateur de fréquence de traitements phytopharmaceutiques (IFT) (Version 2 - Décembre 2016) élaboré au profit du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.
http://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/IFT_manuel_V2_dec_2016_cle0346bc.pdf

Ensuite, les données recueillies servent à alimenter les bases de données nationales, ce qui facilitera la prise de décision (Juan *et al.*, 2018).

IFT Exploitation

$$= \frac{\sum_{\text{Parcelles de l'exploitation}} (\text{IFT Parcelle} * \text{Surface parcelle})}{\sum_{\text{Parcelles de l'exploitation}} (\text{Surface parcelle})} \quad (3)$$

II.4.1.2. Les données

Les données nécessaires pour le calcul de l'indice IFT sont extraites de l'enquête auprès des maraichers des communes d'Ain Naga et de Doucen dans les périodes 2016/2017 et 2017/2018 ; où, dix-huit substances actives appliquées communément au niveau de dix-huit sites par commune visitée, ont été choisies pour les calculs.

Ces produits sont de divers types de produits agricoles, pratiqués sur la tomate, le piment, le poivron, le concombre, l'aubergine, le haricot, le melon et etc., en sous serre et en plein champ.

Cependant, par défaut on retient les statistiques de la période 2017/2018 pour le calcul de l'indice de pression phytosanitaire. Ces statistiques concernent les superficies totales des cultures maraichères, comme exposés dans le tableau 16.

Tableau 16 : Les superficies totales des cultures maraichères pour les deux communes.

Communes	Superficie totale recensée (ha)	Superficie totale traitée (ha)	Superficie totale des cultures maraichères (ha) Campagne agricole 2017/2018
Ain Naga	907,74	144,30	2500
Doucen	241,09	55,65	1220

II.4.2. Modalités de calcul de l'indice de pression phytosanitaire (IPP)

L'indice de pression phytosanitaire (IPP) se calcul selon l'équation n°4 :

$$IPP = IFT (\text{culture 1}) * SAU (\text{culture 1}) + IFT (\text{culture 2}) * SAU (\text{culture 2}) + \dots + IFT (\text{culture n}) * SAU (\text{culture n}) / \text{Surface globale} \quad (4)$$

Le tableau 17 présente les classes qui caractérisent la pression phytosanitaire et correspondant à la note de la chambre d'agriculture de France (DAAF, 2014 ; Boussier, 2015).

Tableau 17 : Catégories de pression phytosanitaire (IPP)

Pression	IPP
Faible	< 0,7
Modérée	[0,7 ; 1,4 [
Forte	[1,4 ; 2,1 [
Très Forte	> 2,1

II.5. Méthodologie de l'évaluation des risques environnementaux

Au cours des vingt dernières années, de nombreux indicateurs qui servent à évaluer les risques et l'impact environnemental liés aux pesticides ont été développés (Levitan, 1997 ; 2000 ; Macharia *et al.*, 2009). Pour notre travail, c'est la troisième partie de cette étude qui a été consacrée à l'évaluation des risques environnementaux potentiels ; pour ce faire, les données précédemment obtenues via l'enquête ont été exploitées.

C'est ainsi que, deux approches ont été suivies, dont la première concerne l'indice Gustafson (GUS), qui présente une approche qualitative simple permettant de déterminer le potentiel de lixiviation de chaque substance active. Alors que, la seconde approche consiste à l'utilisation du modèle d'évaluation des risques environnementaux des produits phytosanitaires, appelé « Pesticide Environmental Risk Index (PERI) ».

Enfin, les données quantitatives obtenues ont été collectées, analysées et interprétées.

II.5.1. Présentation de l'indice de GUS

L'indice empirique de GUS (Groundwater Ubiquity Score) proposé par Gustafson (1989) est un indicateur qui permet de raisonner le choix des pesticides sur la base de leurs possibilités de mouvement et d'infiltration dans les eaux. Un indicateur consultatif, moins exigeant en données, seules la demi-vie (DT50) et le coefficient d'adsorption (KOC) sont les deux propriétés qui caractérisent la mobilité d'un pesticide nécessaires pour le calcul de cet indice (Baruisso, 2004 ; Kogan *et al.*, 2007), suivant l'équation (4):

$$GUS = \log (DT50) * (4 - \log (KOC)) \quad (4)$$

a. Les données utilisées et interprétation

Pour le calcul, dix-huit (s.a.) recensées en usage fréquent parmi les agriculteurs enquêtés ont été choisies au niveau de dix-huit sites dans chaque commune, Ain Naga et Doucen. Conformément à Baruisso (2004), la mobilité potentielle des produits phytosanitaires est appréciée et comparée qualitativement via l'indice de GUS. Les scores obtenus correspondent à l'aptitude des pesticides à s'infiltrer vers l'eau. Ensuite, on procède à faire sortir les trois catégories distinctes, permettant de classer les molécules des pesticides lessivables et à risques potentiels de pollution ou non, suivant Calvet (2005) on trouve :

- GUS > 2,8 : Lessivables, avec un risque de pollution des nappes par les pesticides.
- GUS < 1,8 : Non-Lessivables, et rarement trouvés dans l'eau.
- GUS de 1,8 à 2,8 : Substances limites, inaccessible se retrouve dans un « Intervalle de Transition ».

II.5.2. Présentation du modèle Pesticide PERI «Indicateur de risque environnemental des pesticides»

Le modèle PERI a été développé dans le cadre du processus de certification de l'Organisation internationale de normalisation (ISO)-14001 (Nilsson et *al.*, 1999 ; Muhammetoglu et *al.*, 2010 ; AFT« American Farmland Trust », 2019). Les variables des eaux souterraines, des eaux de surface et des compartiments d'air sont combinés dans une équation pour obtenir un score de risque environnemental (ERS) (Muhammetoglu et *al.*, 2010).

II.5.2.1. Démarche générale du modèle PERI

Les informations détaillées sur le modèle PERI ont été obtenues auprès du centre Américain Farmland Trust (AFT) pour l'agriculture dans l'environnement (AFT « American Farmland Trust », 2019). Afin de calculer le score du risque environnementale (ERS) pour chaque substance active, on doit définir différents paramètres et variables (AFT « American Farmland Trust », 2019 ; Muhammetoglu et *al.*, 2010), suivant l'équation n° 5 :

$$ERS = (GUS \times Kh) + (B + W + D + A + S)/5 \times Kow/10 \quad (5)$$

D'après Levitan (1997), Labite et Cummins (2012), les sept paramètres indiquent :

- (GUS) : Score d'ubiquité des eaux souterraines

- (Kh) : Constante de Henry
- (Kow) : Coefficient de partage
- (Daphnia LC50) : Valeur de concentration létale pour la daphnie, indiquée par D.
- (Algae EC50) : Valeur de concentration effective pour les algues, indiquée par A.
- (Worm CL50) : Valeur de concentration létale pour les vers de terre, indiquée par W.
- (Bee CL50) : Valeur de concentration létale pour les abeilles, indiquée par B.

Cependant, le score de microbes du sol indiqué par S n'est pas pris en considération et considéré nul.

Après, le classement qui évalue les propriétés et les valeurs de toxicité des pesticides sur une échelle de 1 à 5 (Greitens et Day, 2007). Ces valeurs sont présentées en fonction de leur importance, comme illustre la figure 23.

L'indicateur final de risque environnemental (Indicateur final RE) est déterminé en utilisant l'équation n° 6, pour obtenir une caractérisation plus réaliste du risque (AFT, 2019) :

$$\begin{aligned} & \text{Indicateur final de risque environnemental} \\ & = SRE \times (\text{Taux d'application réel} \\ & \quad / \text{taux d'application standard}) \quad (6) \end{aligned}$$

Enfin, pour interpréter facilement les valeurs obtenues à partir du calcul de l'indicateur final de RE, et pour comparer le risque des pesticides sélectionnés, il est nécessaire de normaliser ces valeurs. Donc, pour chaque substance active et formulation, la valeur finale la plus élevée a été prise en compte pour le calcul des valeurs de risque normalisées. Ces valeurs de risque normalisées sont obtenues en divisant chaque valeur de l'indicateur final de risque environnemental par la valeur maximale, correspondant à la méthode de Muhammetoglu et al. (2010).

II.5.2.2. Les données utilisées

Dix-huit substances actives (s.a.) appartenant aux différentes formulations commerciales, trouvées communément utilisées dans les deux communes d'Ain Naga et de Doucen sont sélectionnées pour le modèle PERI. Les paramètres utilisés pour la mise en œuvre du modèle PERI ont été recueillis de la base de données des propriétés des pesticides (PPDB) et du centre national d'information sur la biotechnologie (NCBI).

GUS		Kh		Kow		Algae EC 50	
1	<0	1	<1	1	<3,0	1	<100
2	0-1	2	1-5	5	≥3,0	3	100-100
3	1.0-1.8	3	5-25			5	> 1000
4	1.8-2.8	4	25-100				
5	> 2,8	5	> 100				

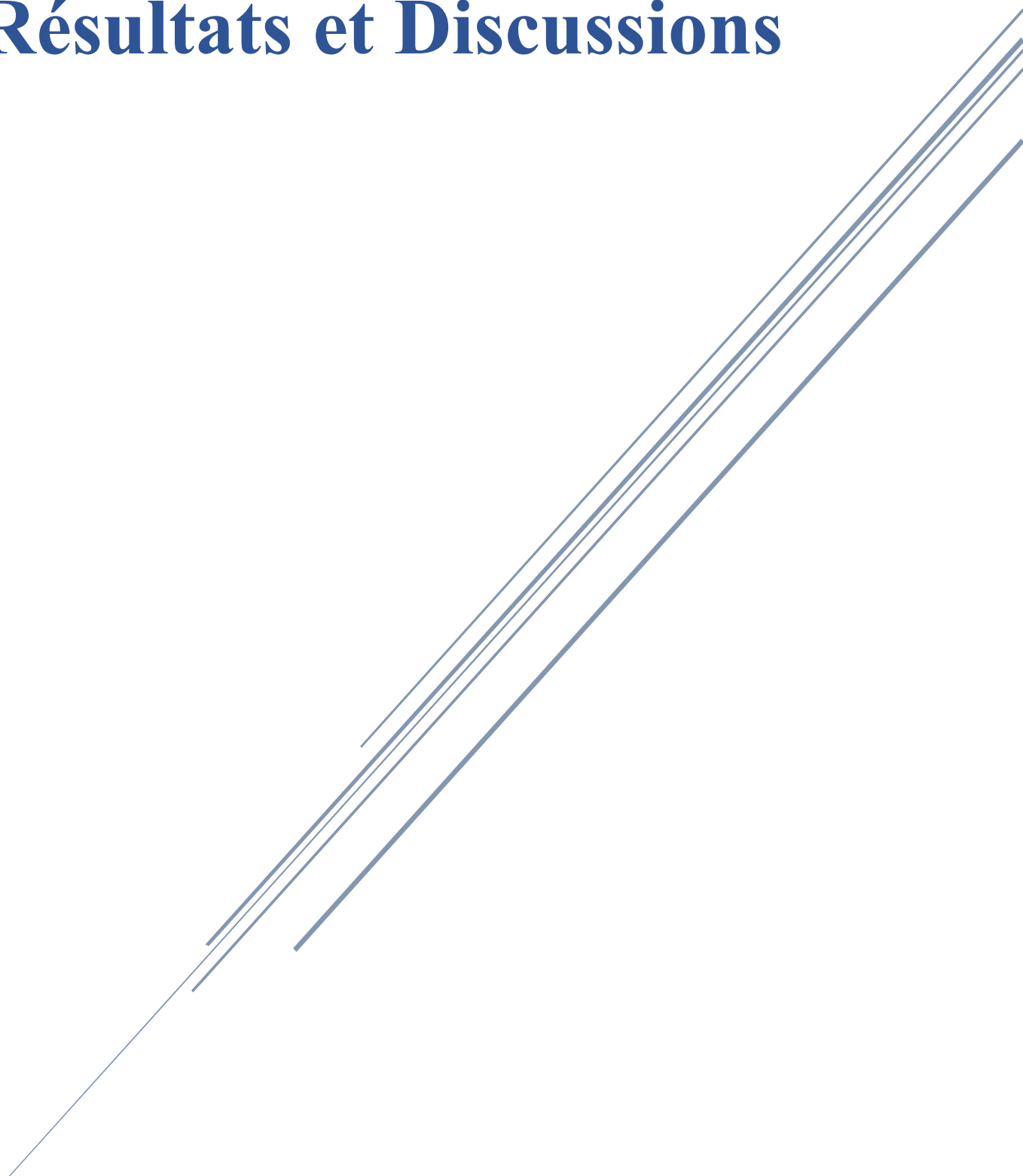
Daphnia LC50 / EC50		Earthworm LC50		Abeilles LC50	
1	> 100 mg / L	1	> 1000 mg / kg	1	> 100 mg / abeille
2	10-100 mg / L	2	1000-100 mg / kg	2	10-100 mg / abeille
3	1-10 mg / L	3	10-100 mg / kg	3	1-10 mg / abeille
4	0,1-1 mg / L	4	1-10 mg / kg	4	0,1-1 mg / abeille
5	> 0,1 mg / L	5	<1 mg / kg	5	<0,1 mg / abeille

Figure 23 : Les scores des différentes composantes du modèle PERI

II.5.2.3. Collecte et traitement des données

Par la suite, le test non paramétrique de Wilcoxon ou de Mann-Whitney U sont choisis pour comparer l'indicateur final du risque environnemental des substances actives (n= 18) pour chaque commune. Les ensembles de données doit être vérifier si sont issues des cas identiques ou similaires et significativement différents les uns des autres ou non (Cramer and Howitt (2004). Encore, pour comparer les valeurs moyennes des deux communes nous avons utilisé deux échantillons de test T à $\alpha= 0,05$, et le test T ayant été réalisé en utilisant R studio ver. 3.6.1.

Résultats et Discussions





III.A. Cultures maraichères, et protection phytosanitaires

III.A.1. Introduction

Le présent chapitre dévoile les résultats de notre enquête, qui porte sur l’exploration des caractéristiques des exploitations cultivant le maraîchage, et les principaux problèmes phytosanitaires qui touchent cette spéculation agricole.

III.A.2. Résultats

III.A.2.1. Caractéristiques générales des exploitations visitées

III.A.2.1.1. Types d’exploitations

Les résultats de l’enquête révèlent que (53%) des exploitations agricoles à Ain Naga sont de type privé « EAP », et (38%) sont autres (location ou donation). Alors qu'à Doucen, la répartition des exploitations agricoles, montre que (59%) des exploitations sont de de type autres (location ou donation), et (41%) sont de type privé (Figure 24).

En ce qui concerne les terres attribuées dans le cadre de la loi 10-03 à titre individuel (EAI) ou collectif (EAC), ne sont recensées qu'au niveau d'Ain Naga et qu'elles ne représentent que (04%) de la répartition des exploitations agricoles, un taux que nous jugeons faible.

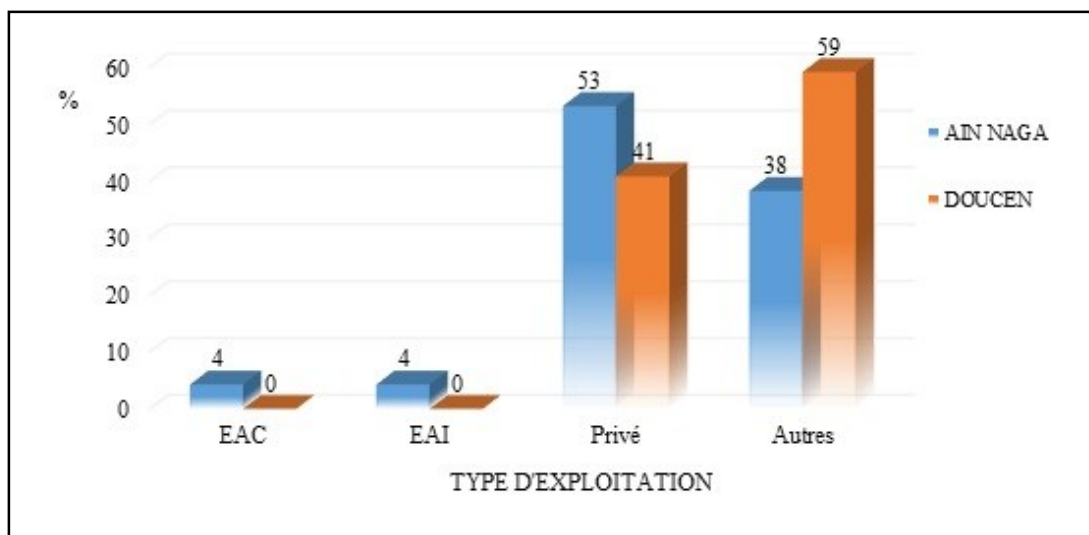


Figure 24 : Répartition de types d’exploitation dans les deux communes enquêtées

III.A.2.1.2. Taille des exploitations

Les cultures maraîchères se cultivent en plein champ et sous serre sur des petites à moyennes superficies. Il en résulte, que les exploitations visitées au niveau des deux communes sont de tailles inégales (Tableau 18). Généralement, la taille varie entre 0,12 et 02 ha en sous serres, et entre 0,50 et 12 ha en plein champ.

On trouve que, 36% des agriculteurs d’Ain Naga ont réservé une surface de 0,96 à 02 ha pour les cultures sous serres, alors que 21% ont cultivé les cultures maraîchères en plein champ sur des terrains d’une taille de 03 à 05 ha.

Par contre, 45% des agriculteurs de Doucen ont dédié une surface de 0,40 à 0,56 ha pour le sous serres, et 47% ont consacré des surfaces de 0,50 à 01,50 ha pour le maraîchage en plein champ (Tableau 18).

Tableau 18 : La taille des exploitations visitées

Mode de cultures	Superficies	Ain Naga	Doucen
		Fréquence (%)	Fréquence (%)
Sous serres	0,12-0,20 ha	6 (13%)	14(29%)
	0,24-0,36 ha	3(6%)	9(18%)
	0,40-0,56 ha	8(17%)	22(45%)
	0,60-0,80 ha	13(28%)	2(4%)
	0,96-2 ha	17(36%)	2(4%)
	Total	47(100%)	49(100%)
Plein champ	0,50-1,50 ha	3(6%)	23(47%)
	2-2,50 ha	5(11%)	2(4%)
	3-5 ha	10(21%)	1(2%)
	10-12 ha	2(4%)	2(4%)
	Incultes	27(57%)	21(43%)
	Total	47(100%)	49(100%)

III.A.2.1.3. Différentes caractéristiques

À 63% les sols des exploitations visitées sont de type sableux-limoneux, et les cultures pratiques sont à 100% conduites en irriguée à partir des forages.

Nous avons constaté que 93% des agriculteurs n’ont pas fait ni d’analyse du sol ni de l’eau, et que 65 % d’eux ne pratiquent que l’assolement des serres, et que 95% ils utilisent des semences déjà traitées (Figure 25).

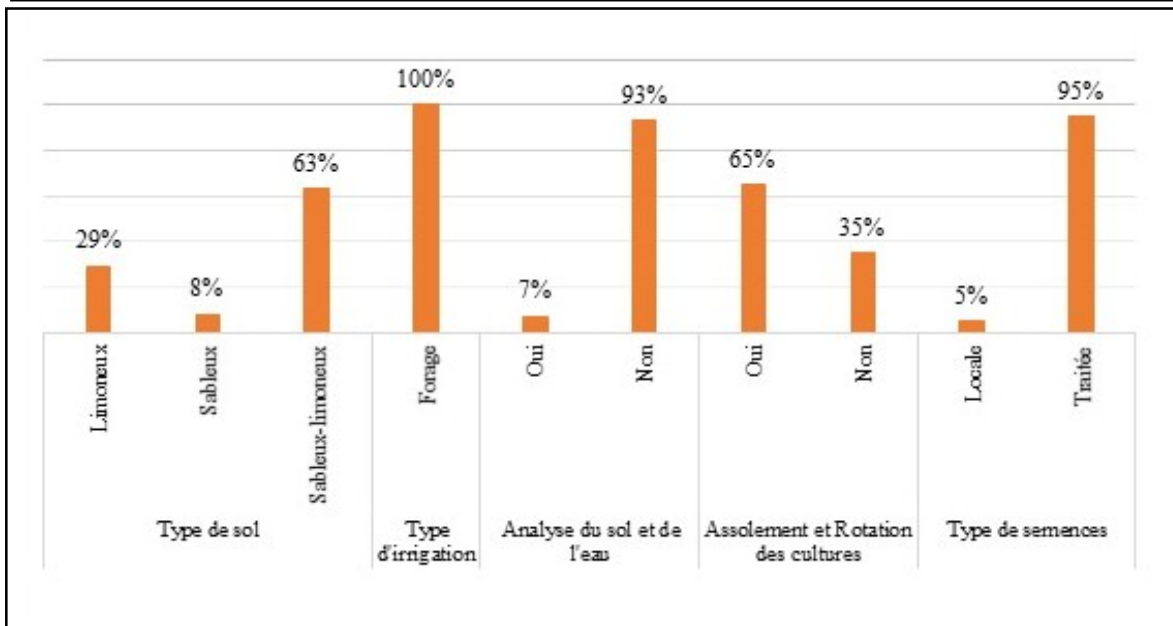


Figure 25 : Caractéristiques générales exploitations visitées dans les deux communes

III.A.2.2. Production agricole et les problèmes phytosanitaires

III.A.2.2.1. Les principales spéculations cultivées

Une diversité de produits agricoles est garantie via le plein champ (Figure 26) et le sous serre (Figure 27), mais la grande partie de la production maraîchère est assurée sous plasticulture.

En conséquence, Biskra est devenue privilégiée par une production extra primeur grâce à l'extension de la plasticulture. Car, elle offre une précocité de récolte avancée de 2 à 3 mois, ainsi qu'un rendement triplé ou quadruplé par rapport au plein champ (Rekibi, 2015 ; Ghelamallah, 2016).

Parmi les cultures sous serres qui intéressent davantage les agriculteurs enquêtés au niveau des sites d'étude, et qui sont abondamment disponibles dans les marchés sont : la tomate, le piment, le poivron et l'aubergine, en plus de potiron et des pastèques cultivées surtout à Doucen (Tableau 19 et Figure 27).

Le tableau 19, résume les principales cultures répertoriées et pratiquées en plein champ, en sous serres (de 400 m), et en multichapelles (de 01 ha), par la majorité des agriculteurs des sites visités.

Tableau 19 : Les principales cultures pratiquées

Les cultures pratiquées	Plein champs	Sous serres	Multi chapelles
Ails (<i>Allium sativum</i>)	✓		
Aubergine (<i>Solanum melongena</i> L.)		✓	✓
Carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	✓		
Concombre (<i>Cucumis sativus</i> L.)		✓	✓
Courgette	✓	✓	✓
Fève (<i>Vicia fabae</i>)	✓		
Haricot verts (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		✓	
Laitue (<i>Lactuca sativa</i> L.)	✓		
Navet (<i>Brassica rapa</i> L.)	✓		
Oignons verts	✓		
Petits pois	✓		
Piment (<i>Capsicum</i> sp.)		✓	✓
Poivron		✓	✓
Pomme de terre	✓		
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)		✓	✓



Figure 26 : Cultures produites en plein champs (a)Tomate ; (b) Fève vert (Photos originales).



Figure 27 : Cultures produites sous serres

(a)Courgette ; (b) Tomate ; (c) différents types de piment ; (d) Melon ;(e) Aubergine (Photos originales)

III.A.2.2.2. Les majeurs problèmes phytosanitaires

La production agricole conduite en plein champ et/ou beaucoup plus en sous serres est sujette aux différentes menaces affectant sa qualité et causent d'énormes pertes sur son rendement. Ces dernières sont principalement, des maladies, des pressions parasitaires importantes et des mauvaises herbes qui pèsent lourdement sur la production.

Les adventices concurrencent les plantes cultivées, et constituent des foyers et refuges pour différents autres agents pathogènes. Sans négliger l'impact des aléas climatiques et les carences en éléments nutritifs dans le sol, ce qui cause des dégâts directs sur les cultures.

Les agriculteurs enquêtés à Ain Naga et à Doucen ont déclaré que plus de 62%, et 71%, respectivement sont capables à reconnaître les symptômes des maladies et des ravageurs sur leurs cultures. Alors que, les majeurs problèmes phytosanitaires rencontrés sont les insectes et les ravageurs, les maladies fongiques et bactériennes (Figure 28).

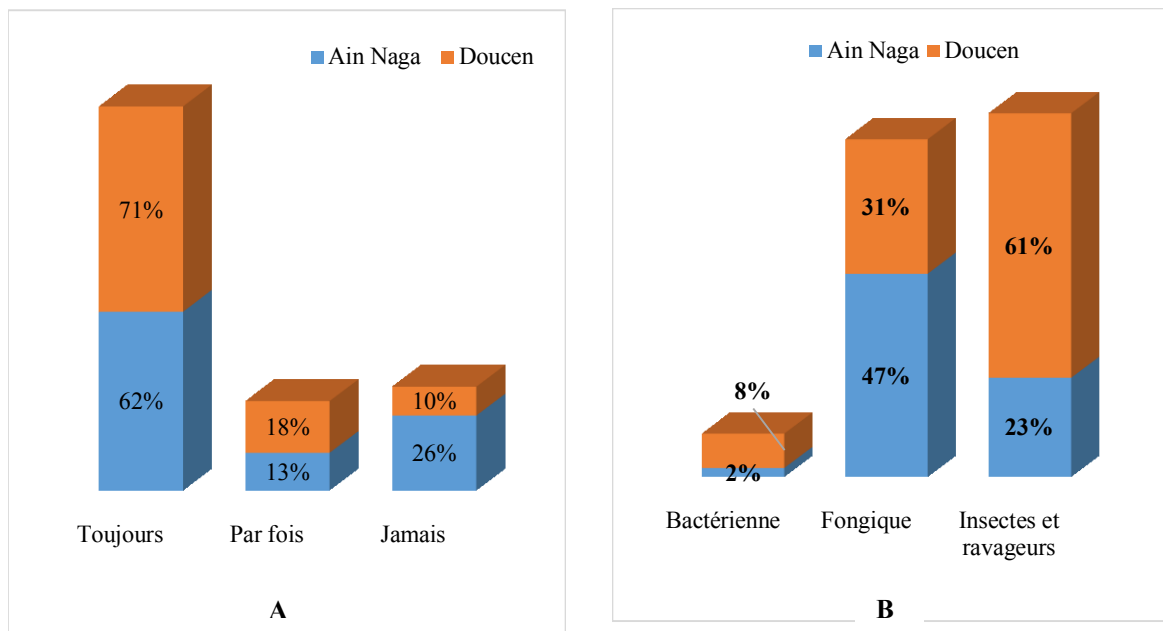


Figure 28 : (A) Reconnaissances des symptômes et dégâts et (B) les majeurs problèmes phytosanitaires rencontrés dans les cultures maraîchères

a. Insectes et ravageurs

Les majeurs insectes ravageurs cités par les agriculteurs à Ain Naga sont la mouche blanche (34%), la mineuse (*Tuta absoluta*)(26%) et l'aphide (13%). Alors qu'à Doucen, les agriculteurs ont fréquemment mentionné la mouche blanche (36%), la mineuse (20%) et l'aphide (13%) (Figure 29 et Figure 30).

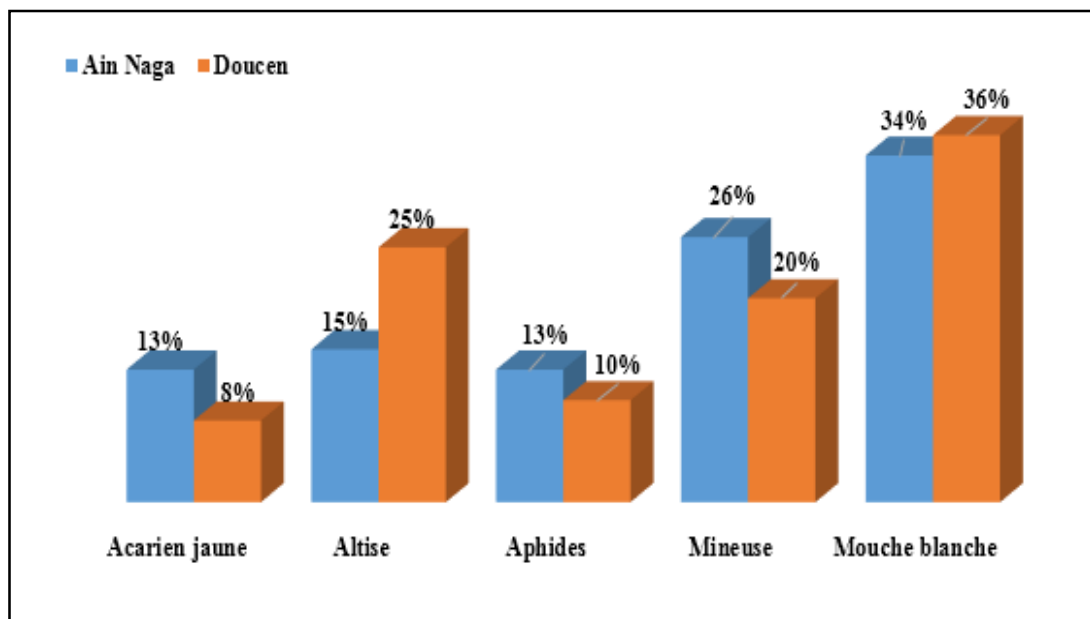


Figure 29 : La distribution des insectes et ravageurs les plus rencontrés dans les cultures maraîchères.

Par ailleurs, certains agriculteurs du Doucen ont mentionné que les acariens et faiblement le vers blanc attaquent leurs cultures (Figure 30).



Figure 30 : Les insectes et ravageurs les plus rencontrés dans les cultures maraîchères (Photos originales)

A : Puceron ; B : Mineuse ; C : vers Blanc ; D : Mouche Blanche.

b. Maladies fongiques

Les agriculteurs enquêtés ont déclaré que les maladies fongiques les plus rencontrées sont l'antracnose du poivron et de la tomate, le mildiou du poivre, le botrytis et l'oïdium.

A Ain Naga, l'antracnose du poivron et de la tomate sont fortement signalés (38%), alors qu'à Doucen, l'oïdium (47%), et le mildiou du poivre (33%) sont les maladies les plus embarrassantes et constamment présentes (Figure 31 et Figure 32).

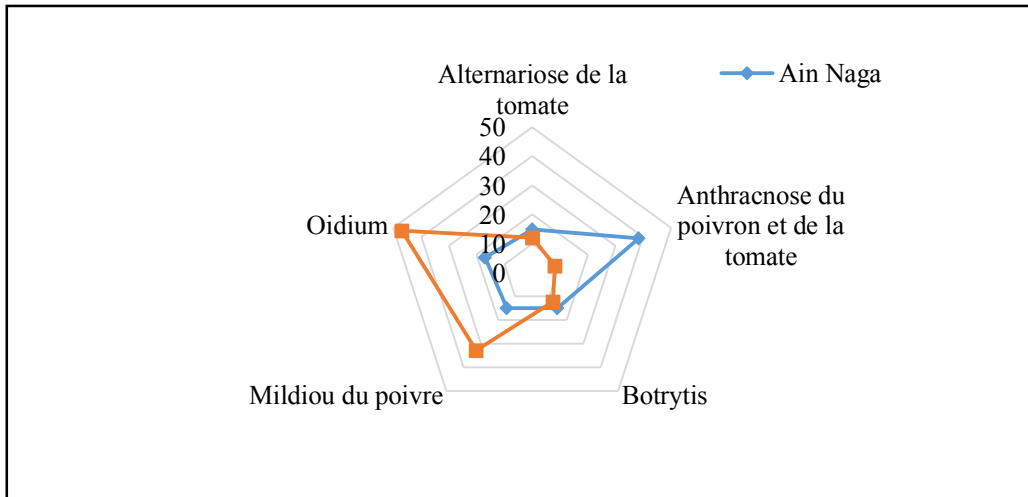


Figure 31 : Radar de la distribution des maladies fongiques sur les cultures maraîchères.



Figure 32 : Les maladies fongiques sur les cultures maraîchères (Photos originales)

A : Alternariose de la tomate ; B : Mildiou ; C : Alternaria.

c. Maladies bactériennes

Les agriculteurs enquêtés ont exprimé que les maladies bactériennes comme la flétrissure bactérienne, la moucheture bactérienne, la pourriture molle bactérienne du poivron, et les taches bactérienne de tomate sont beaucoup problématiques, et que le traitement bactéricide est impératif pour la protection du rendement.

Quoique, la pourriture molle bactérienne du poivron (38%), et la flétrissure bactérienne (28%) sont les plus citées par les agriculteurs d'Ain Naga. Alors qu'à Doucen, (45%) des agriculteurs ont mentionné la moucheture bactérienne (Figure 33).

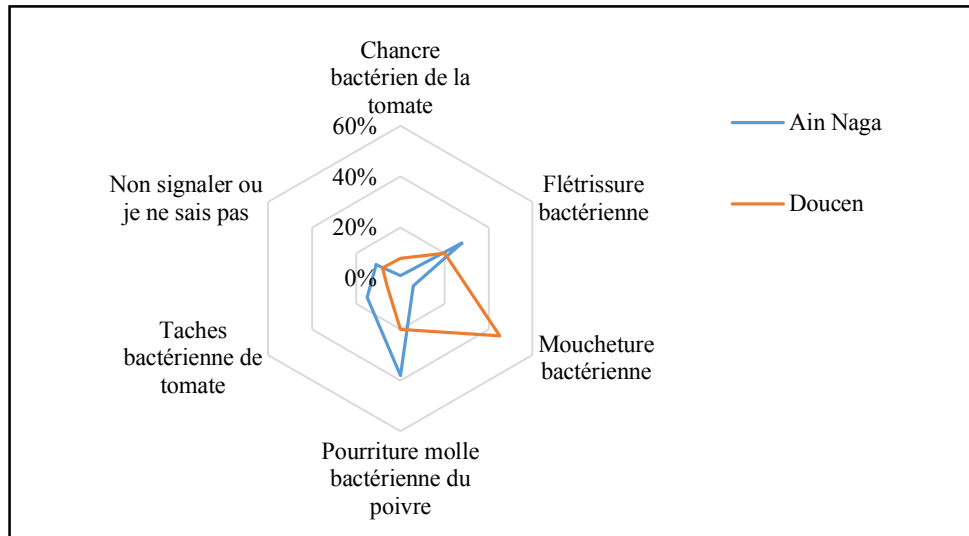


Figure 33 : Radar de la distribution des maladies bactériennes sur les cultures

d. Maladies virales

Concernant les maladies virales, les agriculteurs ont faiblement cités la présence de ce problème dans leurs exploitations, soit parce qu'ils ignoraient leurs symptômes ou bien vraiment il n'y avait rien à signaler. Cependant, 49% des agriculteurs enquêtés ont pu reconnaître et mentionner le Virus de la mosaïque commun du Haricot, au niveau des sites visités (Figure 34).

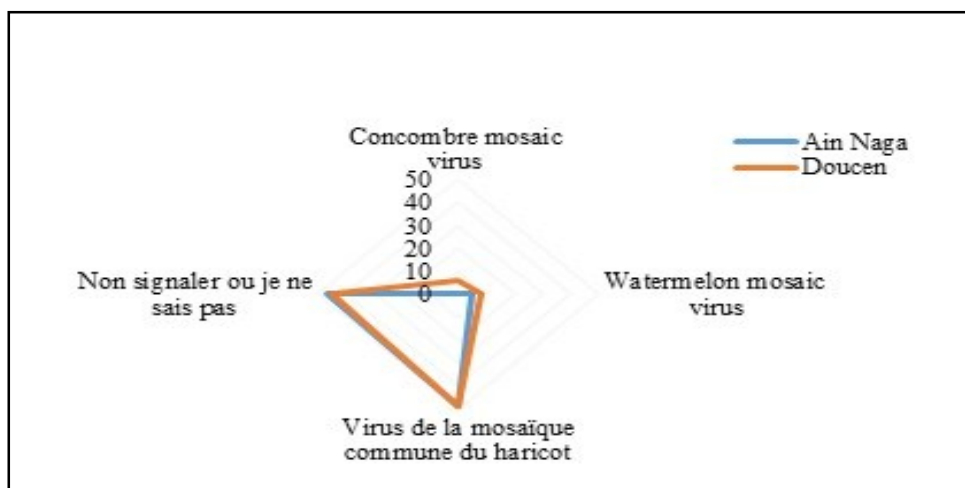


Figure 34 : Radar de la distribution des maladies virales sur les cultures maraîchères.

e. Les carences

À propos des symptômes de carences rencontrés sur les cultures, 16% des agriculteurs enquêtés ont mentionnés la carence en potassium. Contre, plus de 57% qui ont répondu par « ne pas savoir les symptômes, et/ou rien à signaler » (Figure 35).

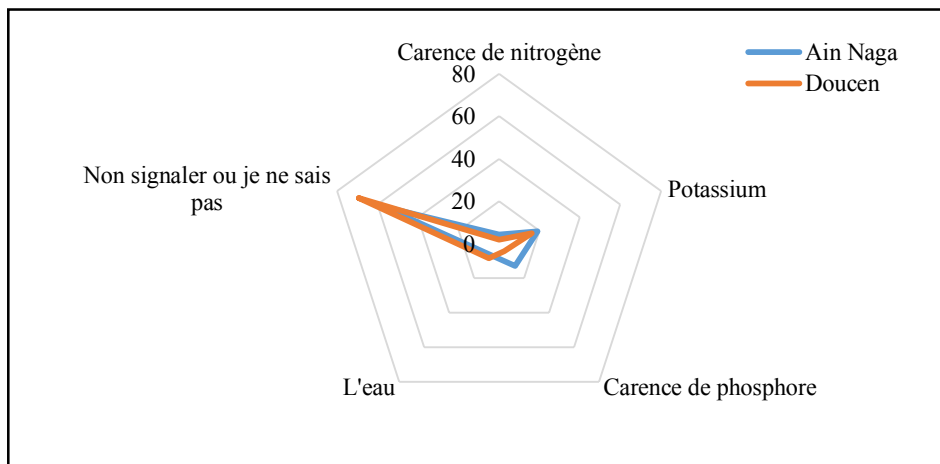


Figure 35 : Radar de la distribution des carences reconnus sur les cultures maraîchères.

f. Mauvaises herbes

Les adventices récentes près des cultures maraîchères dans les sites d'étude sont notamment : Ndjem, Malva Pao (dite : Khoubiz) (Figure 36 et Figure 37). Tandis, l'adventice du *Malva pao* est la plus gênante et cité par des agriculteurs d'Ain Naga (45%) et de Doucen (37%).

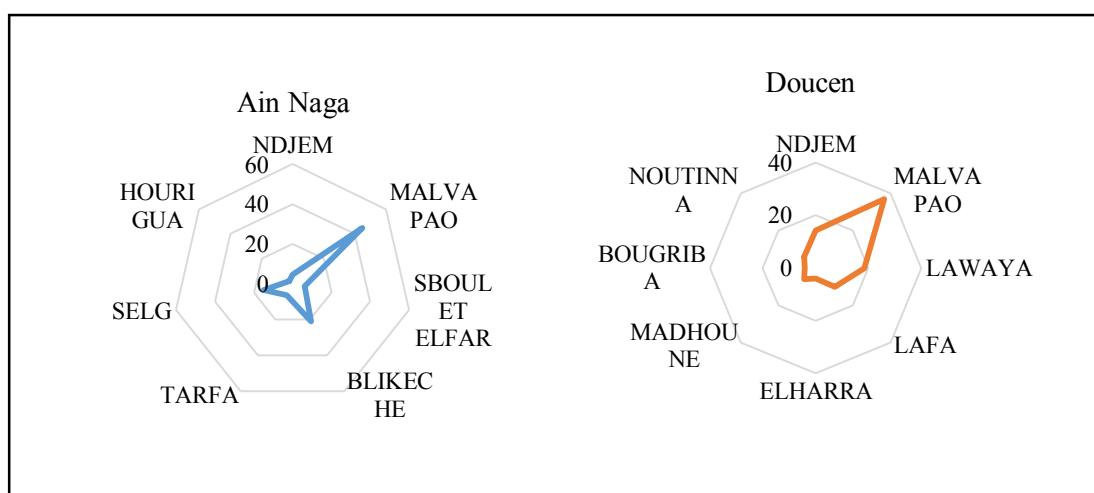


Figure 36 : Radar de la distribution de majeure mauvaises herbes rencontrées sur les cultures maraîchères.



Figure 37 : Les mauvaises herbes souvent rencontrés dans les serres et les champs des cultures maraîchères (Photos originales).

A : Capselle bourse à Pasteur (*Capsella bursa-pastoris* L.) ; B : non identifier ; C : El Salg ; D : El Kromb ; E : non identifier ; F : Habet H'lawa ; G : El Khoubiz

III.A.2.3. Les pesticides recensés en usage par les maraîchers

On constate que, la lutte chimique est la plus envisagée contre les parasites et les maladies sur les cultures maraichères, d'où l'emploi de différents types et catégories de pesticides. Ces produits sont déjà homologués par l'état Algérien et vendus par les commerçants et les fournisseurs de produits agrochimiques dont la plupart sont agréés.

Au total, 143 formulations commerciales ont été recensées dans cette étude, dont 44% sont des fongicides, 40% sont des insecticides y compris les acaricides, et 11% sont des herbicides (Tableau 20).

En outre, les nématicides (1%), raticides (1%), et les régulateurs de production (1%) (Figure 38). Par ailleurs, on signale l'existence de 70 substances actives appartiennent à 39 familles chimiques, dont cinq grandes familles étant les plus présentes à savoir : les carbamates (13%), les pyrethroides (9%), les triazoles (9%), les organophosphates (9%), et les néonicotinoïdes (6%) (Tableau 20 et Figure 38).

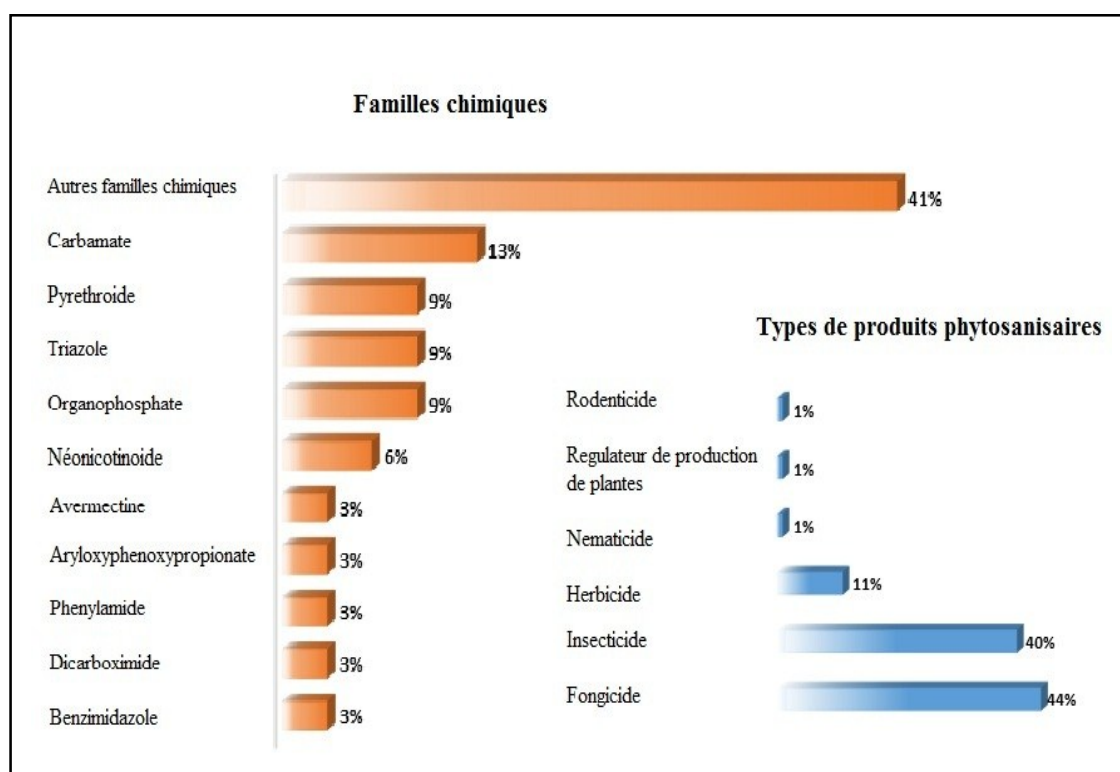


Figure 38 : Familles chimiques et types de produits phytosanitaires recensés en usage fréquent.

Tableau 20 : Inventaire des pesticides recensés en usage sur les cultures maraîchères à Ain Naga et Doucen et listés sur l'index phytosanitaire Algérien (2015)

Type de pesticides	Formulations commerciales	Substances actives
Fongicide	Revolt 5	Carbendazime
	Pelt 70	Thiophanate-methyl
	Dithane M 45, Manco 80 Riva, Cadillac, Penncozeb, Mancotop	Mancozèbe
	Mantop 80 %, Rivanebe 80, Trimangol WG	Manebe
	Polyram DF	Metiram Zinc
	Procure SI	Propamocarb Hydrochloride
	Agripropi	Propineb
	Morfus 720 Sc	Chlorothalonil
	Aldabon 500 S, Corval 50 Wp, Rovral 500 Sc	Iprodione
	Procit, Procymidone	Procymidone
	Karathane	Meptyldinocap
	Foselyam 80 %, Aliette Flash	Fosetyl-aluminium
	Himexate 30 SI, Snake 30 % SI, Tachigazole	Hymexazole
	Ridomil Gold	Metalaxyl-M
	Agrocapt, Fungoro 50	Captan
	Beltanol-L	8-hydroxyquinoline
	Flint 50 Xg	Trifloxystrobine
	Selectra 10 S	Bromuconazole
	Score	Difenoconazole
	Agrevil, Hexar	Hexaconazole
Penconate, Topaze	Penconazole	
Tebuconate	Tebuconazole	
Bayfidan, Trifidan 25, Trinol, Vidan25	Triadimenole	

	Melody Compact	Iprovalicarb + Copper Oxychloride
	Previcur Energy	Propamocarb + Fosetyl-aluminium
	Verita Flash	Fenamidone + Fosetyl-aluminium
	Equation Pro	Famoxadone + Cymoxanil
	Matalaxyl Mz, Maxitan, Fortune 72 %	Metalaxyl+ Mancozèbe
	Amistar Top	Azoxystrobine + Difenconazole
Herbicides	Calliofop	Diclofop-methyl
	Fluazifop	Fluazifop-P-Butyl
	Basagran	Bentazone
	Focus Ultra	Cycloxydim
	Goal 2 E, Goldate 24, Oxford	Oxyfluorfen
	Fortin Sl	Glyphosate
	Metribuzell, Ribuzine, Tribuzin 70 Wp, Turbo	Metribuzine
	Etalon	Linuron
Insecticides en plus les acaricides)	Acrivertine, Abactin 1,8, Bactimec, Biok 1,8 Ec, Limactine, Medamec, Metry, Romectin, Tina, Transact 18 Ec, Vapcomic, Vertimec, Zoro	Abamectine
	Emacide 2%, Proact 50 Ec, Promed 5 SG	Emamectin Benzoate
	Grand 5 %, Glory 5 EC, Electra	Lufenuron
	Basamid, Dacron	Dazomet
	Nematex 24, Vydate 10 G	Oxamyl
	Hexizox, Acarol 10	Hexythiazox
	Coragen 20 Sc	Chlorantraniliprole
	Floramite	Bifenazate
	Cetam 20% Sl, Aceplan 20 Sp, Picador 20 %, Acetaplan, Acetin 20 Sl, Ghazal, Mopistop, Morspilan 20 Sp, Rustilan	Acétamipride
	Commando, Confidor Supra, Fidor Super 70, Imidor	Imidaclopride
	Calypso	Thiaclopride
	Actara 25 Wg	Thiamethoxame
	Dumper, Mitrus	Fenbutatin Oxyde

	Panda 48 Ec	Chlorpyrifos
	Dursban, Chlorban, Dursban Dust 2%, Pyrical 5G	Chlorpyrifos -ethyl
	Diazinon	Diazinon
	Zinad 15 Sc, Arizonate	Indoxacarbe
	Masai	Tebufenpyrad
	Alphacitin 5 Ec, Alphacide 50 Ec	Alpha-cypermethrin
	Tristar	Bifenthrine
	Arrivo 25% Ec, Cym 25, Cypermethrine 25 Ec, Cypra-Plus, Sherpa 2 Gc	Cypermethrine
	Decis 25	Deltamethrine
	Rider, Lambda, Karateka, Katox, Lamdoc 50 Ec, Top Gun	Lambda-Cyhalothrin
	Force	Tefluthrine
	Brik 10	Tau-fluvalinate
	Tracer 240 Sc	Spinosad
	Nomites 57 Ec	Propargite
	Oberon 240 Sc	Spiromesifen
	Ampligo 150 ZC	Chlorantraniliprole + Lambda-Cyhalothrin
	Mondial	Chlorpyrifos+ Cypermethrin
	Aster Extrim	Cypermethrin+ Acetamiprid
	Protus	Deltamethrin+ Thiacloprid
	Engeo 247	Lambda-Cyhalothrin+ Thiamethoxam
Nématicides	Telone Ec	1,3-Dichloropropene
Régulateur de croissance de plante	Sprafer	2-Naphthyloxyacetic Acid
Raticide	Hunterpate	Chlorophacinone

III.A.2.4. Evaluation de l'usage de produits phytosanitaires et la grandeur de pression

III.A.2.4.1. L'indice de fréquence de traitement (IFT Traitement)

Les investigations réalisées au niveau des communes d'Ain Naga et de Doucen, ont fait sortir dix-huit substances actives fréquemment appliquées en maraîchage et reconnues efficaces par les maraichers enquêtés (Tableau 21).

En outre, concernant le rapport entre la dose appliquée et la dose homologuée exigée pour le calcul de l'indicateur de fréquence de traitement, il paraît qu'il y a une légère dissemblance entre les deux communes enquêtées. Autrement dit, le rapport est élevé à Ain Naga pour certaines substances actives, diazinon et hexythiazox (insecticides), hexaconazole (fongicide) et fluazifop-p-butyl (herbicides).

Par contre, à Doucen, on trouve que le rapport est élevé pour chlorantraniliprole, cyperméthrine, fenbutatin oxyde et indoxacarbe (insecticides), triadiménole (fongicide) et metribuzine (herbicides).

Tableau 21 : Les différentes IFT Traitement et substances actives engagées dans la protection phytosanitaire dans les deux communes d'étude

Type	Substances actives	Formulations commerciales	Ain Naga	Doucen
			DA/DH	DA/DH
Insecticides (y compris acaricides)	Abamectine	Bactimec	1,43	1,43
	Acetamipride	Aceplan 20 Sp, Mopistop, Morspilan 20 Sp, Rustilan	4,80	4,00
	Chlorantraniliprole	Coragen 20	0,67	1,33
	Cyperméthrine	Arrivo 25% Ec, Cyperméthrine 25Ec, Cypra-Plus, Sherpa 2gc	5,00	7,50
	Diazinon	Diazinon	24,00	8,00
	Fenbutatin oxyde	Mitrus, Dumper	0,11	9,00
	Hexythiazoxe	Acarol 10 Wp	10,00	8,00
	Imidaclopride	Confidor Supra, Fidor Super 70	4,00	3,33
	Indoxacarbe	Zinad 15	10,00	20,00
Fongicides	Thiaclopride	Calypso	1,66	1,66
	Hexaconazole	Agrivil	5,00	3,75
	Hymexazole	Tachigazole, Tachigaren 30 Sl	3,00	1,00
	Mancozébe	Dithane M 45, Manco 80 Riva, Mancophyt	1,25	1,25
	Triadiménole	Trifidan 25	5,00	10,00

	Trifloxystrobine	Flint 50 Xg	10,00	40,00
Herbicides	Fluazifop-p-butyl	Fusitop, Fluazifop	0,50	0,11
	Linuron	Etalon	0,17	0,33
	Metribuzine	Turbo, Ribuzine	0,86	1,43
DA : La dose appliquée. DH : La dose homologuée				
<i>Source : Enquête pratiques phytosanitaires (Soudani, 2017)</i>				

III.A.2.4.1.1. Nombre de traitements phytosanitaires par saison

L'agressivité des attaques de pathogènes et la sévérité des maladies sur les cultures pratiquées exigent la répétition des traitements phytosanitaires afin de gérer la situation.

Cependant, la présente enquête a révélé que les conditions environnantes (température, humidité, etc.) sont aussi déterminantes. Le nombre moyen de passages ou traitements des cultures à Ain Naga est 3,36 fois par quinze jours en saison humide contre 7 fois en saison sèche (Tableau 22). Alors qu'à Doucen le nombre de traitements moyen est 4,49 fois par quinze jours en saison humide contre 8,80 fois en saison sèche.

Encore, il est possible d'appliquer deux produits dans un même passage, c'est ce qu'il a été signalé dans les deux communes enquêtées (Tableau 22).

Tableau 22 : Nombre de traitements phytosanitaires par saison (saison humide et saison sèche) dans les communes enquêtées

	Ain Naga		Doucen	
	Saison Humide	Saison Sèche	Saison Humide	Saison Sèche
Moyenne	3,36	7,00	4,49	8,80
Erreur standard de la moyenne	0,16	0,37	0,22	0,34
Ecart type	1,11	2,51	1,56	2,38
Plage	4	11	5	10
Minimum	2	1	3	5
Maximum	6	12	8	15

III.A.2.4.1.2. Calcul de l'indice de fréquence de traitement IFT

a. Différents types d'IFT traitements réalisés sur cultures, par commune

Sept espèces appartenant aux familles de solanacées, cucurbitacées en plus d'une espèce légumière (le haricot vert) sont recensées et souvent cultivées dans les deux communes enquêtées. Il s'agit des cultures d'aubergine, de concombre, d'haricot vert, de melon, de piment, de poivron, et de tomate.

Cependant, plus de 59% des maraichers enquêtés à Ain Naga et à Doucen pratiquent la culture de tomate et de piment. Ensuite, les différents indicateurs d'IFT ont été calculés, présentés et distribués en détails par type de culture et par commune (Tableau 23).

On remarque qu'à Ain Naga, les grandes superficies cultivées sont dédiées aux cultures de tomate (75,36 ha) > piment (50,56 ha), et les petites superficies consacrées aux cultures d'Aubergine (6,34 ha) > d'haricot vert (2,76 ha) > de melon (2 ha). Toutefois, l'apport de trois catégories de PPPs est plus important sur le piment et la tomate comparé aux autres cultures dénombrées. Concernant les IFT insecticides, les valeurs sont plus élevées pour la culture de tomate (110,03) et de piment (100,60). La même remarque pour les IFT fongicides, la culture de piment (48,44) et la tomate (28,93) présentaient les valeurs les plus élevées.

Alors qu'au niveau de la commune de Doucen, les grandes superficies cultivées sont celles des cultures d'aubergine (16,81 ha), de tomate (16,09 ha) et de piment (14,97 ha). A la suite, les valeurs d'IFT insecticides les plus élevées, sont obtenus sur la culture d'aubergine (110,09), de tomate (88,27) et de piment (81,17). Encore, les valeurs les plus élevés d'IFT fongicides ont été enregistrées sur la culture de tomate (65,34), d'aubergine (35,00) et de piment (32,51).

À propos des IFT herbicides calculés, on signale qu'au niveau des deux communes, les valeurs enregistrées sur toutes les cultures sont faibles (inférieure à zéro). A l'exception l'IFT herbicide marqué sur la tomate (1,31) cultivée à Doucen est la valeur la plus élevée comparativement aux autres espèces maraîchères.

Tableau 23 : Les différentes pressions d'utilisation de pesticides, en détails, selon les cultures et par commune

Commune	Indicateurs	Aubergine	Concombre	Haricot vert	Melon	Piment	Poivron	Tomate
Ain Naga	IFT insecticides	1,54	1,08	6,96	4,16	100,60	17,15	110,03
	IFT fongicides	0,38	0,00	2,17	0,73	48,44	2,15	28,93
	IFT hors herbicides	1,92	1,08	9,13	4,89	149,04	19,30	138,95
	IFT herbicides	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,06
	IFT Total	1,92	1,08	9,14	4,89	149,07	19,31	139,01
	Superficie traitée (ha)	6,34	2,00	2,76	2,00	50,60	5,24	75,36
Doucen	IFT insecticides	110,09	8,48	19,74	25,77	81,17	14,35	88,27
	IFT fongicides	35,00	3,13	2,64	2,50	32,51	5,22	65,34
	IFT hors herbicides	145,09	11,61	22,38	28,27	113,68	19,57	153,61
	IFT herbicides	0,10	0,13	0,01	0,06	0,12	0,00	1,31
	IFT Total	145,18	11,74	22,39	28,32	113,80	19,57	154,92
	Superficie traitée (ha)	16,81	1,3	2,86	1,1	14,97	2,52	16,09
<i>Source : Enquête pratiques phytosanitaires (Soudani, 2017)</i>								

b. Calcul d'IFT totales moyens réalisés sur cultures, par commune

Le calcul de l'indice de fréquence de traitement global moyen (IFT Total Moyen) par culture au niveau des deux communes, a facilité l'identification des cultures consommatrices de produits phytosanitaires (PPPs), et en même temps comparer en les sites d'étude, comme illustre-la figure 39.

Du point de vue général, les sept espèces maraîchères pratiquées à Doucen ont présenté des valeurs d'IFT Total moyen plus élevées que celles obtenues à Ain Naga.

Bien que, l'intensité d'utilisation moyenne de PPPs élevée a été enregistrée, à Ain Naga, sur tomate (7,72)>piment (5,86)>haricot vert (3,10), et au niveau de Doucen, les valeurs enregistrées sont plus élevées.

Autrement dit, les cultures de piment (30,45)> d'aubergine (14,08)> de melon(13,45)> de tomate (8,66) ont marqué les valeurs les plus élevées et jugées les plus consommatrices de PPPs en comparaison avec le reste des espèces à faibles valeurs (Figure 39).

Il semblait opportun de signaler que, cette distinction dans les valeurs d'IFT Totale moyen, pourrait être à cause du type de culture, les conditions environnantes, les vecteurs nuisibles et la pression de ces derniers surtout avec la stratégie et la perception de l'agriculteur.

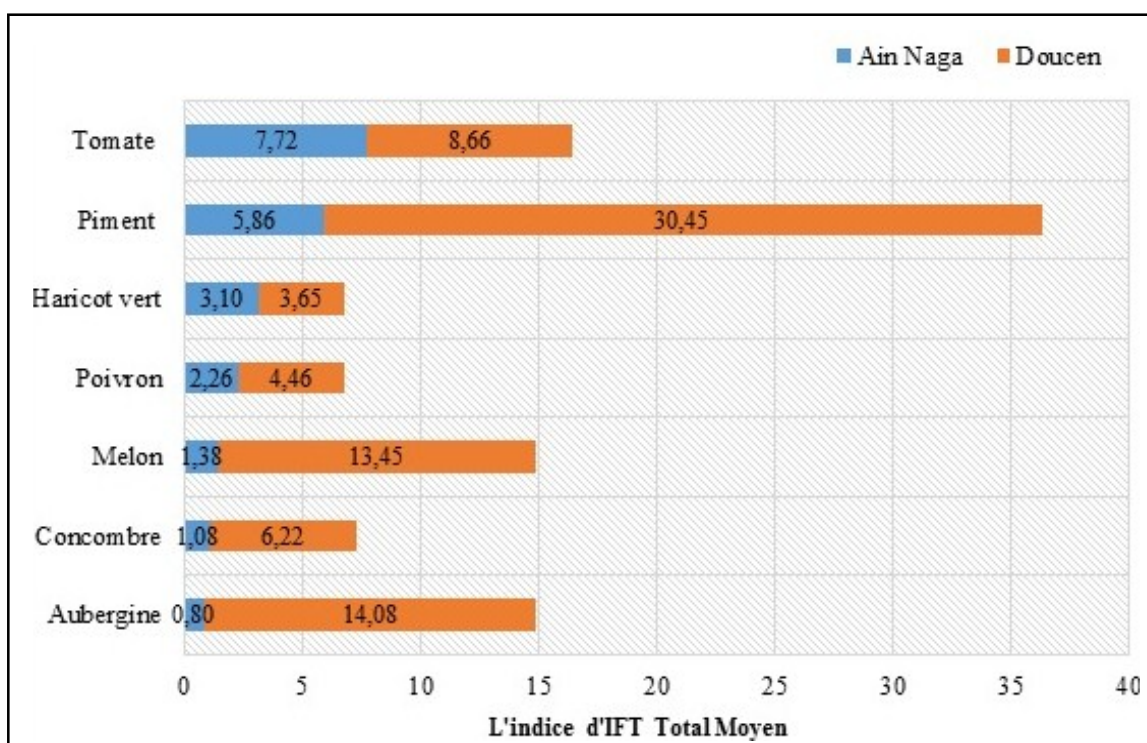


Figure 39 : La pression d'utilisation de pesticides (IFT totale Moyen) selon les cultures et par commune.

c. Répartition des différents types d'IFT moyen sur cultures, par site

La comptabilisation de l'indice de fréquence de traitements calculés par catégories d'usage et après l'agrégation spatiale, l'IFT hors Herbicides (insecticides et fongicides) et l'IFT Herbicides ont été réparties pour chaque site et par commune. C'est ainsi que, l'IFT obtenu reflète une moyenne pondérée à des unités parcellaires (DRAAF, 2015).

On remarque que, l'usage des insecticides est globalement important chez 10/18 sites enquêtés à Ain Naga. Par ordre d'importance, il s'agit des sites de Safl Tadjdid> Ghemoug> Methmane> Djalaya> Horrara> Lamnisaf> Feidh Sala> Nebka> Tabet Chanouf> Mansoria (Figure 41).

Trois sites ont présenté des valeurs d'IFT total élevées par rapport aux autres sites, il s'agit des sites de Mansoria, où se pratique la tomate (36,91), le piment (33,43) et le poivron (10,45) ; Tabet Chanouf, où se pratique le piment (35,52), le Haricot vert (4,15) et le melon (0,32). En plus, le site de Nebka où la culture de piment est dominante (IFT Total= 40,50) (Figure 40).

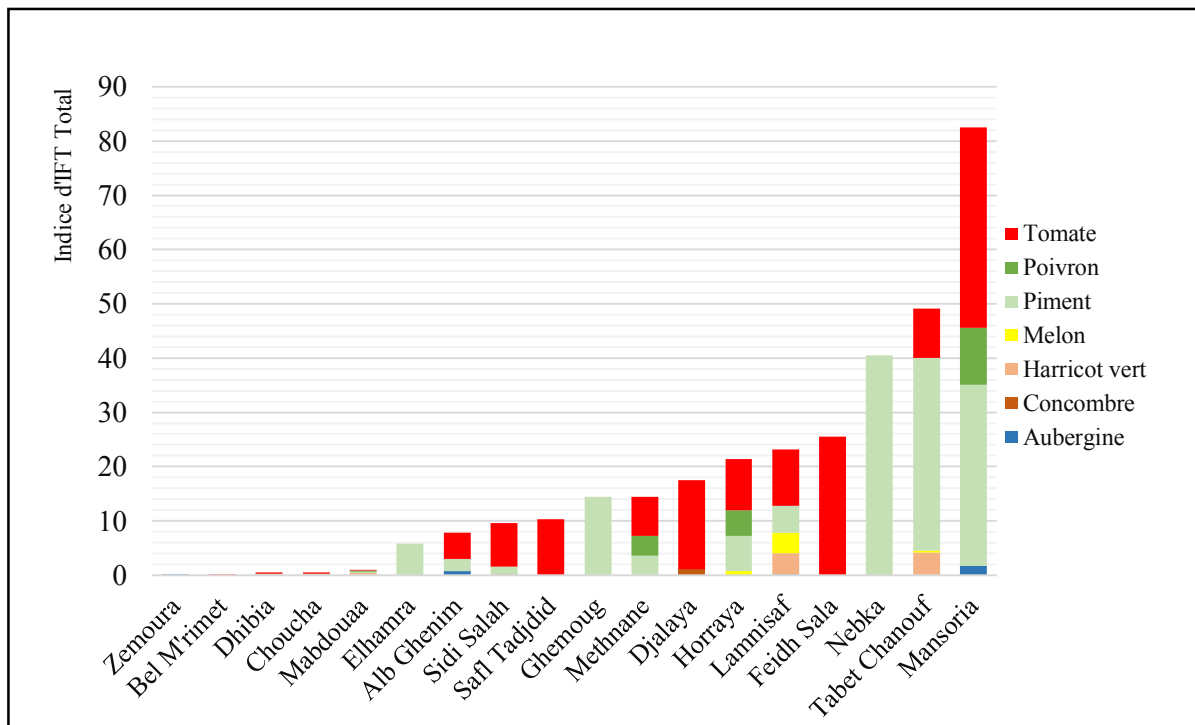


Figure 40 : L'intensité d'utilisation de pesticides sur cultures, par site, commune d'Ain Naga.

Pareillement, au niveau de la commune de Doucen six sites ont enregistré des valeurs d'IFT Totales les plus élevés, comme illustre la figure 41.

Par ordre d'importance, il s'agit des sites de Tamda où se cultive la tomate (64,82), l'aubergine (28,03), le concombre (6,77), le piment (4,41), le haricot vert (1,28) et le poivron (0,55). Le site de Berouth où se cultive le piment (45,91), la tomate (37,56) et l'aubergine (7,36). En plus de site de Noumer où on trouve l'aubergine (55,61), le poivron (11,17), le piment (8,82), et la tomate (7,59), dans la site d'Elmarhoum où se pratique l'aubergine (29,66), le piment (15,65), le haricot vert (6,80), le concombre (4,97), la tomate (1,36).

Puis, on trouve Maather Khira où se pratique le melon (28,32), la tomate (19,69), le piment (4,89) et le poivron (3,33) ; enfin le site d'Elamri où on trouve le piment (20,89), l'aubergine (16,83), la tomate (10,04) et le haricot vert (8,27).

Généralement, on remarque que les sites qui comportent plus d'une ou deux cultures font plus d'appel aux PPPs.

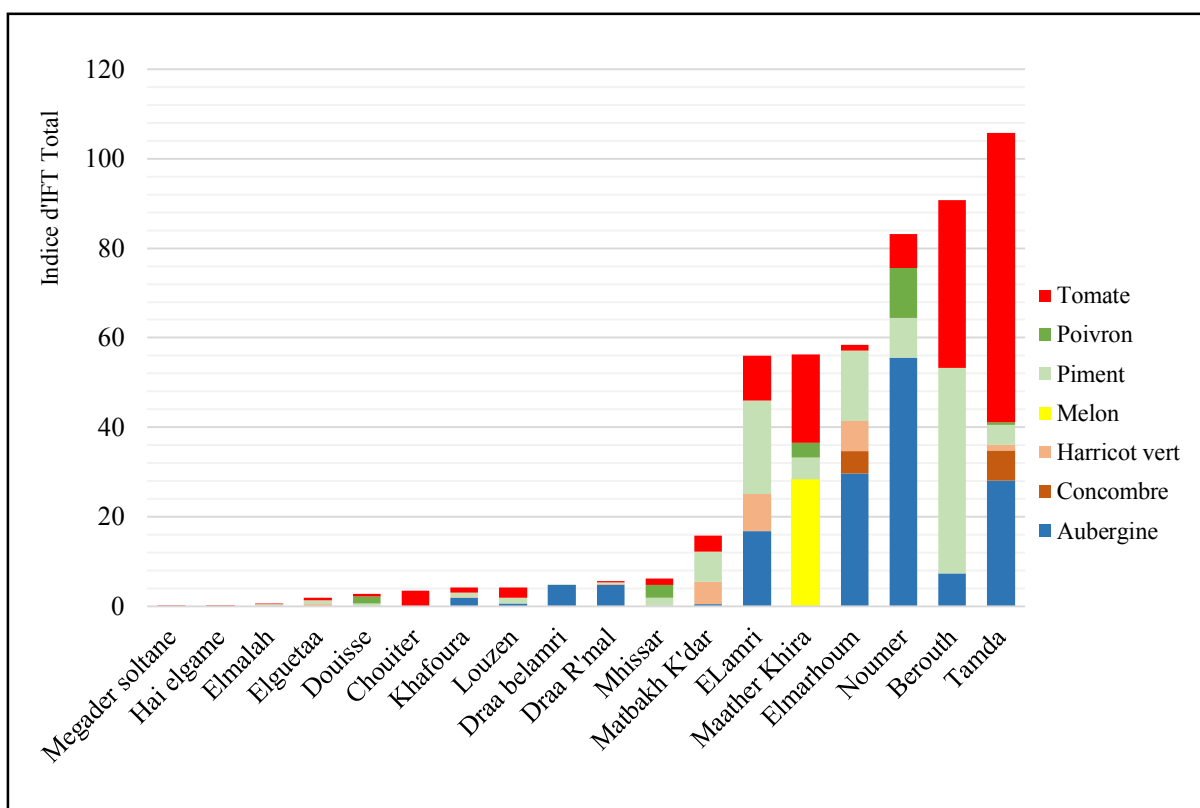


Figure 41 : L'intensité d'utilisation de pesticides sur cultures, par site, commune de Doucen.

III.A.2.4.2. L'indice de pression de traitements phytosanitaires (IPP)

L'indice de pression de traitements phytosanitaires sur l'environnement (IPP) est calculé à partir des IFT traitement moyen de cultures, par site et le ratio superficie culture sur la superficie totale de toutes les cultures. Ce qui a aidé ensuite à obtenir des valeurs d'IPP Culture, IPP site et leurs niveaux de pression correspondants (Tableau 24).

a. Calcul de l'indice d'IPP par type de cultures

Sur cultures, le calcul d'indice IPP Culture nous a facilité la classification des cultures sur la base de trois catégories de grandeurs de pression phytosanitaire ressortissante.

De la sorte, la très forte grandeur de pression phytosanitaire est marquée sur les cultures de tomate (4,03) et piment (2,05) au niveau d'Ain Naga, et sur les cultures de piment (8,25), aubergine (4,29) et tomate (2,52) au niveau de Doucen.

Une grandeur de pression modérée est enregistrée sur aubergine à Ain Naga.

Par contre, les cultures de concombre, haricot vert, poivron et melon ont traduit une faible grandeur (inférieur à 0,7), au niveau des sites d'étude, comme sont présentés dans le tableau 24.

Tableau 24 : L'indice de pression de traitements phytosanitaires (IPP Moyen) par type de cultures

Culture	Ain Naga		Doucen	
	IPP Culture	Désignation du niveau de Pression	IPP Culture	Désignation du niveau de Pression
Melon	0,02	Faible	0,27	Faible
Concombre	0,01	Faible	0,15	Faible
Poivron	0,08	Faible	0,2	Faible
Haricot vert	0,06	Faible	0,19	Faible
Piment	2,05	Très Forte	8,25	Très Forte
Tomate	4,03	Très Forte	2,52	Très Forte
Aubergine	0,97	Modérée	4,29	Très Forte

Source : Enquête pratiques phytosanitaires (Soudani, 2017)

b. Calcul de l'indice d'IPP sur sites, par commune

À travers le calcul d'IFT Exploitation moyen ou site, les sites où sont enregistrés à la fois un usage important de produits phytosanitaire et une grande pression phytosanitaire ont été déterminées, comme expose le tableau 25.

À propos de l'intensité d'utilisation de PPPs au niveau de la commune d'Ain Naga, on constate que, 8/18 sites présentaient un IFT exploitation moyen supérieur ou égale à la surface traitée. Par ordre décroissant, il s'agit des sites de Mansoria, Nebka, Feidh Sala, Ghemoug, Djalaya, Tabet Chanouf, Elhamra, Methnane.

Cependant, une très forte grandeur de pression phytosanitaire des cultures sur les sites est enregistrée uniquement au niveau de Mansoria (IPP Site=15,04) et Nebka (IPP Site=5,3).

Encore, Feidh Sala (IPP Site=1,02) et Safl Tadjdid (IPP Site=0,91) ont présenté une pression modérée.

Au niveau de la commune de Doucen, on note que 13/18 sites ont présenté des valeurs d'IFT exploitation moyen supérieur ou égale à la surface traitée. Contrairement, les valeurs de l'intensité d'utilisation de PPPs sont inférieures ou égales à la superficie traitée dans cinq sites. Par ordre décroissant, il s'agit des sites de Mhissar (IFT exploitation moyen=0,09) et les sites de Elguetaa, Draa belamri, Megader soltane et Hai Elgamer ont tous exprimé des IFT exploitation moyens similaires égaux à zéro.

Tandis que, la grandeur de pression pour la plupart des sites est considérée faible (inférieur à 0,7), et la pression polluante modérée est enregistrée uniquement à Noumer (IPP Site = 1,20).

Alors que, deux sites ont démontré une très forte grandeur de pression phytosanitaire, il s'agit des sites de Berouth (IPP Site = 7,15) et de Tamda (IPP Site = 3,02).

Au sujet de la grandeur de pression phytosanitaire créée par cultures sur sites visités par rapport à l'échelle globale de la commune, on note que les valeurs sont globalement inférieures à 0,7, dans la plupart des sites d'étude, ce qui traduit une faible pression polluante.

À l'exception de site de Mansoria qui a montré une grandeur de pression (IPP Site/Commune) modérée, comme sont présentés dans le tableau 25.

Tableau 25 : L'indice de pression de traitements phytosanitaires sur site (IPP Site), par site et par rapport aux communes (IPP Site/Commune).

Commune	Sites	Superficie cultivée (ha)	IFT Exploitation Moyen	IPP Site	Niveau de Pression	IPP Site/Commune	Niveau de Pression
Ain Naga	Ghemoug	0,28	14,43	0,03	Faible	0,00	Faible
	Methnane	0,32	5,41	0,01	Faible	0,00	Faible
	Bel M'rimet	0,4	0,16	0,00	Faible	0,00	Faible
	Dhibia	0,4	0,19	0,00	Faible	0,00	Faible
	Zemoura	0,72	0,08	0,00	Faible	0,00	Faible
	Choucha	1	0,19	0,00	Faible	0,00	Faible
	Mabdouaa	2,04	0,11	0,00	Faible	0,00	Faible
	Elhamra	3,5	5,84	0,14	Faible	0,01	Faible
	Alb Ghenim	4,88	1,43	0,05	Faible	0,00	Faible
	Djalaya	5	10,32	0,36	Faible	0,02	Faible
	Feidh Sala	5,8	25,47	1,02	Modérée	0,06	Faible
	Sidi Salah	7,16	2,42	0,12	Faible	0,01	Faible
	Tabet Chanouf	7,78	8,82	0,48	Faible	0,03	Faible
	Lamnisaf	8,04	2,58	0,14	Faible	0,01	Faible
	SafI Tadjdid	12,8	10,25	0,91	Modérée	0,05	Faible
	Horraya	12,96	1,14	0,10	Faible	0,01	Faible
	Nebka	19,6	39,00	5,30	Très Forte	0,31	Faible
Mansoria	51,62	42,06	15,04	Très Forte	0,87	Modérée	
Doucen	Elmalah	0,16	0,20	0,00	Faible	0,00	Faible
	Louzen	0,28	1,81	0,01	Faible	0,00	Faible
	Elguetaa	0,4	0,43	0,00	Faible	0,00	Faible
	Megader soltane	0,4	0,04	0,00	Faible	0,00	Faible
	Draa belamri	0,4	0,05	0,00	Faible	0,00	Faible
	Douisse	0,48	1,96	0,02	Faible	0,00	Faible
	Khafoura	0,52	1,02	0,01	Faible	0,00	Faible
	Hai elgamer	0,64	0,03	0,00	Faible	0,00	Faible
	Matbakh K'dar	1,48	2,32	0,06	Faible	0,00	Faible
	Draa R'mal	2,13	3,19	0,12	Faible	0,01	Faible
	Chouiter	2,16	3,47	0,13	Faible	0,01	Faible
	Mhissar	2,36	2,18	0,09	Faible	0,00	Faible
	Maather Khira	2,7	9,42	0,46	Faible	0,02	Faible
	Noumer	3,5	19,13	1,20	Modérée	0,05	Faible
	Elmarhoum	3,98	11,39	0,81	Faible	0,04	Faible
	ELamri	5,1	6,74	0,62	Faible	0,03	Faible
	Tamda	10,42	16,13	3,02	Très Forte	0,14	Faible
Berouth	18,54	21,47	7,15	Très Forte	0,33	Faible	

Source : Enquête pratiques phytosanitaires (Soudani, 2017)

III.A.4. Discussion

L'assistance de l'État au secteur agricole a pris en considération le soutien de l'agriculture par divers programmes pour encourager les jeunes à s'engager dans ce domaine et à exploiter les terrains agricoles. À travers la présente enquête, il paraît que la grande partition des exploitations agricoles visitées sont des propriétés privées, de petites à moyennes tailles.

C'est à dire que, la superficie de la parcelle (totale) exploitée est supérieure ou égale à 02 ha, mais un agriculteur peut aussi gérer cinq petites serres tunnels. Il est à mentionner aussi que les agriculteurs sont des bénéficiaires de parcelles de terrain par le biais de la concession, ou bien issus de division d'un héritage familial, à savoir un groupe de parcelles, entre frères et sœurs, partagé par donation, renonciation, ou bien par une location auprès d'un notaire.

Concernant l'irrigation, la plupart des exploitations enquêtées utilisent le forage (individuel ou collectif), le réseau de distribution d'eau et le système d'irrigation « goutte à goutte ».

Nos résultats sont proches à celles trouvés dans les travaux d'Ouendeno *et al.* (2015) et Quarouch *et al.* (2015).

Signalons que, les agriculteurs bénéficient d'un soutien de la part de l'État, spécialement dédié aux matériels d'irrigation. À cet égard, des décisions ministérielles ont été établies, parmi lesquelles, la décision n° 943 du 02/10/2014 portant sur la promotion des systèmes d'irrigation économiseurs d'eau à la parcelle « kits asperseurs, etc. » et la décision ministérielle n° 302-139 et l'article 3 de l'arrêté interministériel du 02 avril 2014, portant sur l'acquisition de matériel et d'équipements agricoles fabriqués localement (DSA, 2019).

Au-delà du soutien de l'État, le développement du maraîchage dans la région de Biskra n'est que le fruit d'un ensemble de facteurs déterminants réunis. En concordance avec Rekibi (2015) et Ghelamallah (2016), le microclimat favorable de la région, la maîtrise des techniques relatives aux cultures maraîchères par les agriculteurs, surtout celles conduites en sous serres, l'utilisation de bonnes variétés à rentabilité commerciale élevée, sans oublier le rôle des opérateurs économiques en matière d'intrants agricoles dès le début (pépiniéristes et commerçants).

Principalement, les agriculteurs visent à produire intensément de produits agricoles diversifiés, de haute qualité et exempts de maladies tout au long de l'année, afin que les marchés locaux soient alimentés régulièrement et satisfaire les besoins des consommateurs.

D'après Kanda *et al.* (2013), l'abondance des semences et variétés (locales et étrangères) contribue à la diversification de la production agricole, mais actuellement, les semences étrangères améliorées sont souvent les plus utilisées. En raison de leur disponibilité et leur accessibilité par la majorité des agriculteurs, conformément à Dugué *et al.* (2017).

De la sorte, divers produits maraîchers sont cultivés sur des surfaces énormes (en plein champ, et en plasticultures) (Benfekih, 2015 ; Coulibaly, 2015) ce qui rend leur disponibilité d'une manière permanente et permet la réduction de leurs prix sur les marchés.

En 2010, les agriculteurs de la wilaya de Biskra ont consacré le tiers de la superficie pour la culture de tomate, correspondant à Rekibi (2015). Après, Bettiche (2017) a cité que les cultures de tomate, piment et poivron ont présenté environ 78 % de la superficie totale de la plasticulture.

Toutefois, le maraîchage en intensive est généralement accompagné par un usage massif de pesticides et fertilisants (minérales et organiques) pour contrôler les menaces phytosanitaires permanentes pour ce type de production (Damalas, 2017), ce qui a permis d'assurer la production.

Donc, allant du semis jusqu'à la commercialisation, les pertes causées par les facteurs biotiques et abiotiques sont importantes et touchant le tiers de la production agricole annuellement (Kanda *et al.*, 2009 ; Ahouangninou *et al.*, 2011 ; Coulibaly, 2015 ; Benfekih, 2015).

Il s'ajoute que, la plasticulture offre un environnement clos, favorable pour la croissance des cultures, mais en même temps propice pour la propagation de multiples bio agresseurs et maladies (Ahmadou *et al.*, 2016). D'autant, les mauvaises pratiques culturales peuvent causer ou accélérer la pression phytosanitaire des cultures et automatiquement augmenter l'usage de pesticides (Son, 2018).

L'aération des serres, la maîtrise incorrecte de l'opération d'ouverture et fermeture de la serre en période sèche ou humide engendre une variation dans la température. Là, cette variation favorise fortement l'apparition des maladies, des ravageurs et l'accentuation des infestations dans les cultures maraîchères, conformément à Agnandji (2018).

À la suite, au niveau de la région de Biskra, les maladies telles que l'anthracnose du poivron et de la tomate, l'oïdium, le mildiou du poivre, la pourriture molle bactérienne du poivre et la flétrissure bactérienne sont fréquemment signalés sous serre.

Encore, les ravageurs comme la mineuse et l'aphides, celles-ci sont aussi signalés par Othmane et al (2011). Alors que les noctuelles et la mouche blanche (L'bab, 2009) et le thrips (Houamel, 2013 ; Razi, 2017) sont observés au niveau de la commune de Doucen.

Dans le cadre de cette étude, les maraîchers ont déclaré que l'identification et la reconnaissance des dégâts des ravageurs, et les symptômes des maladies (fongiques et bactériennes) sur les cultures étaient faciles pour eux.

En revanche, plus de 45% des maraîchers n'ont pas signalé la présence des maladies virales et des carences, ou bien n'ont pas pu reconnaître leurs symptômes, sur les cultures ou même les confondre aux maladies physiologiques. On suppose que, c'est en raison de leur niveau d'instruction, d'encadrement et de formation. Ces remarques correspondent à celles trouvés par Ahouangninou et al. (2019).

Au-delà, l'ignorance des agriculteurs aux agents causaux des maladies et des dégâts sur les cultures rend critique le choix des PPPs pour eux, et leur application plus problématique (Wognin et al., 2014 ; Naré et al., 2015). Dans ce cas-là, l'agriculteur est obligé de donner au vendeur fournisseur de produits agrochimiques une description bien détaillée du problème phytosanitaire rencontré, ou même d'apporter des photos et/ou des échantillons de plantes atteintes par la maladie, à fin de lui livrer le produit convenable.

Cependant, la majorité des agriculteurs enquêtés ont négligé l'importance de la lutte curative et les techniques culturales en faveur de la lutte chimique par les PPPs.

De la sorte, l'utilisation irrationnelle de ces produits contribue fortement à l'émergence de la résistance des ravageurs, à l'augmentation des coûts de production et aux préjudices sur l'environnement et les humains (agriculteurs, manipulateurs et consommateurs des légumes) (FAO, 2013).

D'où s'aperçoit l'importance de maîtriser les moyens de lutte préventifs pour réduire à la fois l'usage de pesticides et l'occasion des problèmes phytosanitaires exercés par les parasites ou suite aux conditions environnantes défavorables (FAO, 2013). Parmi ces techniques l'usage du paillage dans les serres.

Mais, rares sont les agriculteurs qui le pratiquent, de plus la quasi-totalité préfèrent le désherbage manuel. Alors que, le paillage permet de protéger les semis en cas de fortes pluies, réduit le contact des fruits avec le sol humide, limiter le développement des mauvaises herbes et la dissémination des maladies par des éclaboussures (FAO, 2012).

En outre, Brodeur et *al.* (2013) ont souligné qu'une gestion intégrée des ravageurs constitue la meilleure option pour l'avenir de l'agriculture, car, elle associe les techniques de lutte biologique, la résistance génétique, les façons culturales appropriées et la réduction de l'emploi des pesticides. Cette stratégie de lutte non seulement garantit les rendements, mais réduit aussi les coûts de la production et protège l'environnement, ce qui contribue à assurer une exploitation agricole viable.

À propos des pesticides employés, on signale que les formulations de type fongicides suivies par les insecticides sont les plus recensés dans les sites visités ; parmi lesquelles, des substances actives sont les plus répondues à savoir : l'abamectine, l'acetamipride, le mancozebe, le cyperméthrine, l'hexythiazox, l'imidaclopride, le diazinon, l'emamectine, le benzoate et le thiaclopride.

Par ailleurs, les emballages et les boîtes vides des produits trouvés partout dans les exploitations étaient utiles pour l'identification des produits utilisés, car juste une minorité d'agriculteurs ont pu se souvenir des noms de ces produits.

Bien qu'au Burkina Faso, 75% les pesticides employés étaient des insecticides, acaricides, et nématicides (Naré et *al.*, 2015), on trouve au Ghana qu'à 44% les herbicides sont largement utilisés dans la production maraîchère urbaine (Ntow, 2006).

Bien que, les biopesticides ont prouvé leur efficacité sur les nuisibles, la demande sur ces produits est modeste, bien qu'ils soient moins toxiques et plus sélectifs que les pesticides synthétiques, conformément à Schreinemachers et *al.* (2015).

On signale que les produits contenant les substances actives d'abamectine et d'emamectine benzoate sont en usage fréquent, et moins le spinosate.

Devant le manque des alternatives fiables et efficaces, la disponibilité des PPPs sur le marché et le besoin de préserver les cultures ont contribué fortement à l'augmentation de la demande sur ces produits, conformément à Diop (2013). Bien que ces produits présentent une toxicité plus ou moins importante sur l'homme et l'environnement, ils sont jugés obligatoires.

Selon Lomberk et *al.* (2014), de nombreux agriculteurs à Costa Rica sont convaincus que les pesticides sont indispensables pour la production agricole, en 2000, Costa Rica a été classé comme le pays le plus consommateur en produits chimiques par hectare dans le monde.

Afin d'éclaircir la situation des maraîchers au niveau des sites d'étude, l'évaluation des pratiques phytosanitaires a montré que, l'intensité d'utilisation des PPPs et la grandeur de pression phytosanitaire polluante sur l'environnement sont testés.

Les maraîchers enquêtés ont appliqué une diversité de formulations commerciales pour garantir la production. Cependant, dix-huit substances actives, appartenant aux catégories des insecticides (y compris acaricides), des fongicides et à un degré plus faible des herbicides sont communément appliquées sur sept cultures maraîchères.

Quant à la dose appliquée, le plus souvent les maraîchers à Doucen ont appliqué des doses supérieures à la dose homologuée surtout pour les insecticides, des doses même plus élevées comparées à celles appliquées par leurs homologues maraîchers à Ain Naga.

En outre, le nombre de passages ou de traitement moyen par quinze jours est aussi plus important à Doucen, que ce soit en saison humide ou sèche comparativement à celui effectué à Ain Naga.

En conséquence, les indices d'intensité d'utilisation de PPPs hors herbicides (IFT insecticides et IFT fongicides) sont plus importants sur certaines cultures pratiquées, ce qui correspond au résultat trouvé par Ahouangninou et *al.* (2019) menus sur les pratiques phytosanitaires.

Les cultures qui occupent de grandes superficies et requièrent un emploi important de PPPs sont les cultures de piment (153,61), d'aubergine (145,09) et de tomate (113,68) à Doucen, et sur les cultures de piment (149,04) et de tomate (138,95) à Ain Naga. Notons que, les IFT herbicides sont faibles au niveau des deux communes, à l'exception de la culture de tomate cultivée à Doucen qui présentait un IFT herbicides le plus élevé égale à 1,31. Ces mêmes espèces ont exprimé une très forte pression phytosanitaire.

Globalement, la moyenne de l'indice de fréquence de traitement sur les cultures (IFT Total moyen) obtenu à Doucen est à 3,6 fois supérieures à celui obtenu à Ain Naga, ce qui traduit un emploi intensif en PPPs.

Tandis que, les indices de pressions sont importants à Doucen comparés à ceux de Ain Naga, c'est-à-dire l'indice de pression IPP Culture obtenu est 2,5 fois élevé et l'indice de pression culture par rapport à la commune IPP Culture/Commune est deux fois élevé.

À cet égard, il n'était pas possible de comparer nos résultats avec d'autres travaux réalisés dans la région de Biskra ou dans d'autres régions de l'Algérie. En raison que peu de travaux

scientifiques publiés en Algérie traitant l'utilité d'usage de l'indicateur d'IFT dans l'évaluation de la pression phytosanitaire des cultures sur l'environnement.

Seuls quelques projets modestes de fin d'études (master) réalisés récemment dans la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien) ont abordé ce sujet. Certains ont enregistré des valeurs des IFT moyens élevés sur quelques cultures maraîchères, à savoir le piment / poivron (15,60), tomate (10,16) comme l'a souligné Ben Abdelhamid (2016), sur le haricot vert (22,89), fraisier (16,30), pastèque (16,21) et poivron (15,26) correspondant à Hamdi et Djaoudi (2017), et enfin sur tomate (6,08), poivron (8,50) et pomme de terre (2,70) d'après Ben Thamer et Seghieri (2018).

Pourtant, l'indicateur d'IFT est essentiel pour gérer l'usage des pesticides et/ou faire des comparaisons entre types de cultures, systèmes de production et zones géographiques, conformément à Mamy *et al.* (2008) et Aydi hadji (2012). Il se trouve que, le manque d'IFT de référence en Algérie constitue une contrainte, que ce soit des normes locales (régionales) ou nationales. Sachant que les valeurs de référence régionale et nationale, pour chaque type de culture et catégorie de PPPs sont souvent communiquées par le ministère de l'Agriculture, élaborées sur la base des enquêtes sur terrains portant sur les pratiques culturales sur les cultures et par campagnes (MAAF, 2015).

Les résultats obtenus au niveau des sites, montrent que l'intensité d'utilisation de PPPs et la grandeur de pression polluante à Ain Naga sont plus importantes qu'à Doucen. Autrement dit, à Ain Naga, huit sites présentaient un IFT exploitation moyen supérieur ou égale à la surface traitée. Parmi lesquelles, Feidh Sala et Safl Tadjdid exprimaient une pression modérée et Mansoria et Nebka présentaient une très forte pression polluante.

Par contre, à Doucen, treize sites présentaient des valeurs d'IFT exploitation moyen supérieur ou égale à la surface traitée ; parmi lesquelles Noumer présentait une pression polluante modérée, ainsi Berouth et Tamda montraient une très forte grandeur de pression phytosanitaire.

Cependant, à l'échelle globale de la commune, la grandeur de pression engendrée sur site par rapport à la commune (IPP Site/Commune) est faible pour la plupart des sites des deux communes, à l'exception de Mansoria à Ain Naga, qui a montré une pression modérée.

On pense qu'un emploi intensif de PPPs sur la culture ou sur une diversité de cultures pratiquées dans l'exploitation « pression agrégée sur les parcelles » est le résultat direct de

l'accroissement de la grandeur de la pression. Généralement, la diversité des cultures pratiquées peut contribuer à l'augmentation de la pression phytosanitaire créée par les nuisibles et les maladies, sans oublier que les pratiques phytosanitaires des agriculteurs entraînent aussi un impact non négligeable.

Conformément aux résultats trouvés par Brunet et *al.* (2008), la grandeur de la pression phytosanitaire est en relation de la surface cultivée beaucoup plus que par l'intensité de l'utilisation de pesticides (IFT moyen). Donc, elle est variable selon le type de culture et les systèmes de production.

De la sorte, la présente étude expose que la grandeur de pression des traitements phytosanitaires produite par les cultures pratiquées à Doucen est plus élevée que celle produite à Ain Naga.

Bien que, cette dernière a présenté la grande surface totale traitée des sept espèces recensées, soit 144,30 ha, c'est-à-dire presque trois fois plus élevée que celle de Doucen (55,65 ha). Finalement, il faut signaler que les IFT obtenus ne sont pas vraiment les IFT réels à 100%, mais nous avons opté pour ce type de calcul pour avoir une idée proche de l'IFT réel.

Donc, le problème réside dans le manque de données recherchées, là, on note que les agriculteurs généralement n'enregistrent ni surveillent leurs pratiques agricoles, y compris phytosanitaires tout au long de la campagne agricole et de l'année.

Correspond à Guy (2007), l'IFT présente un faible intérêt environnemental pour les contaminations. Alors que, Mamy et *al.* (2017), ont indiqué que ce type de pression est en relation avec les impacts sur l'environnement, c'est-à-dire le nombre de molécules détectées.

Toutefois, il paraît que la disponibilité de beaucoup et importantes données réelles et variables d'une région à l'autre et sur des périodes de temps différentes garantit l'obtention des valeurs IFT proches de la réalité à 100%. Conformément à Brunet et *al.* (2008) et Pinault et *al.* (2009), l'IFT fait partie des outils d'évaluation simple, de guidage des agriculteurs et de décision pour réduire l'usage des PPPs et la pression polluante.

III.A.4. Conclusion

En raison que, cultures maraîchères sont souvent sensibles aux menaces de maladies et des bioagresseurs agricoles, rend le recours fréquent à l'usage des produits phytosanitaires justifié. La présente étude a révélé les agriculteurs enquêtés à Doucen ont appliqué des doses homologuées de pesticides importantes qu'à l'échelle des sites d'Ain Naga. En conséquence, l'intensité d'usage de produits (IFT) et la grandeur de pression phytosanitaire (IPP) sur les cultures recensées à Doucen sont plus élevées. Donc, les produits agricoles contaminés par les résidus de pesticides constituent un danger pour la santé des consommateurs.

Tandis que, la pression phytosanitaire polluante qui s'exerce à l'échelle des sites d'étude très forte et modérée sont menaçantes pour l'environnement. Ainsi, la dépendance des agriculteurs aux PPPs, leurs pratiques agricoles et phytosanitaires imprudentes et le manque de perception du risque sont les causes majeures de l'apparition de telle situation risquée. Ceci est l'objet de la partie III.B.



III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

III.B.1. Introduction

La présente partie expose le résultat d'une partie de l'enquête dédiée à évaluer le niveau de connaissance agriculteurs algériens, particulièrement les maraîchers en ce qui concerne les produits phytosanitaires, les attitudes et les pratiques phytosanitaires suivies. Afin de comprendre les menaces potentielles associées à l'utilisation de pesticides sur la santé humaine et l'environnement.

III.B.2. Résultats

III.B.2.1. Caractéristiques sociales et démographiques des agriculteurs

III.B.2.1.1. Genre, âge, et niveau d'instruction

La majorité des agriculteurs enquêtés au niveau des sites d'étude sont des hommes adultes, les femmes propriétaires d'exploitation agricole et pratiquant l'agriculture ont été recensés seulement à Ain Naga (4%).

À propos de l'âge, 84% des agriculteurs enquêtés à Doucen sont considérés jeunes (entre 20 et 49 ans). Incomparable aux agriculteurs enquêtés à Ain Naga, 62% d'entre eux sont plus âgés (entre 50 et 79 ans). Alors que, l'évaluation du niveau d'instruction, montre que 43% des agriculteurs d'Ain Naga ayant un niveau primaire, contre 53% à Doucen avec un niveau secondaire. Cependant, la proportion des agriculteurs diplômés est beaucoup inférieure, seulement 4% et 8% à Ain Naga et à Doucen, respectivement (Figure 42).

III.B.2.1.2. Expérience, et formation

L'expérience professionnelle dans ce domaine acquise par 49% et 71% maraîchers enquêtés à Ain Naga et à Doucen, respectivement varie de 0 à 19 ans. En outre, une minorité des agriculteurs (23% à Ain Naga et 4% à Doucen) ont déclarés une expérience qui arrive jusqu'à 40 ans et plus.

Toutefois, 79% et 74% des agriculteurs enquêtés à Ain Naga et à Doucen n'ont pas bénéficié d'une formation agricole pour exercer le métier agricole (Figure 42).

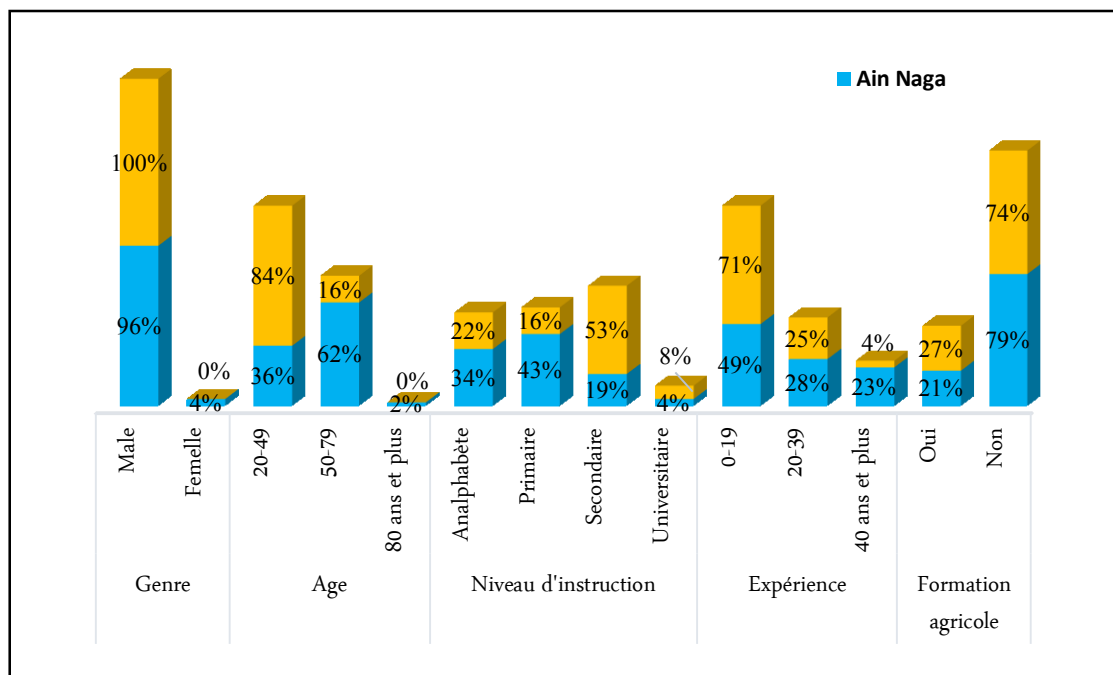


Figure 42 : Caractéristiques sociales et démographiques des maraîchers d’Ain Naga et Doucen.

III.B.2.2. Agriculteurs et leurs connaissances

III.B.2.2.1. Reconnaissances des dégâts, et symptômes de maladies sur les cultures

La production agricole est continuellement sujette aux différentes attaques biotiques, et abiotiques, mais un restreint nombre d’agriculteurs démontrent une capacité à reconnaître les dégâts occasionnés, ou les symptômes des maladies sur leurs cultures.

Cela peut être en raison du faible niveau d’instruction, l’insuffisante expérience professionnelle dans ce domaine, ou bien à la dépendance aux vendeurs phytosanitaires.

Malgré cela, 62% et 71% des agriculteurs enquêtés à Ain Naga et à Doucen respectivement, ont déclaré qu’ils savent facilement reconnaître les problèmes phytosanitaires déclenchés sur leurs productions (Figure 43).

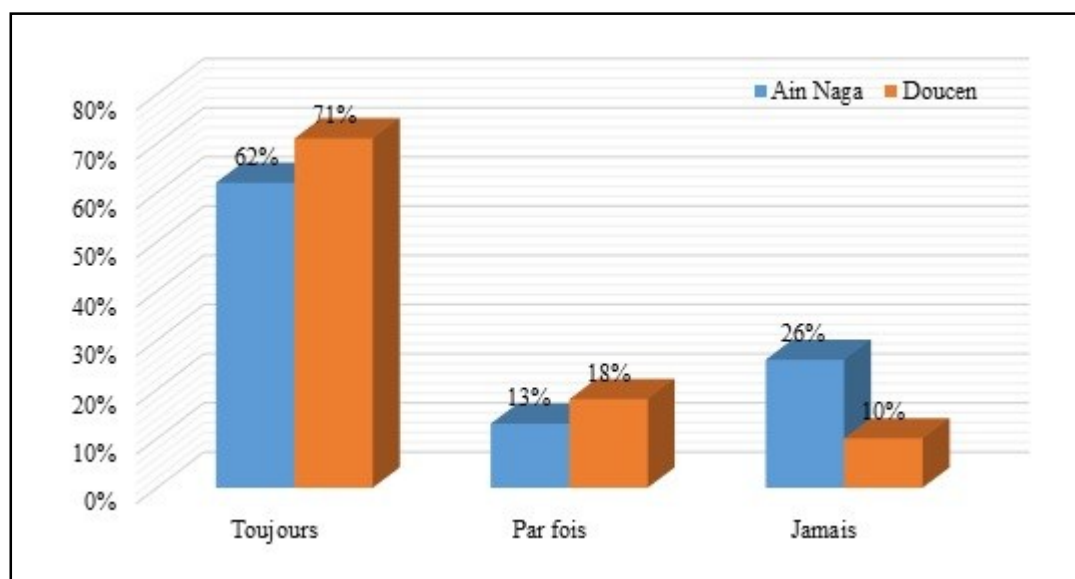


Figure 43 : Reconnaissances des dégâts, et symptômes de maladies sur les cultures

III.B.2.2.2. Connaissance des agriculteurs sur les pesticides leurs risques associées

Dans cette étude, les agriculteurs enquêtés à Ain Naga (57%), et à Doucen (67%) ne sont pas bien informés sur les risques des pesticides.

Pourtant, 79% et 67% des agriculteurs enquêtés à Ain Naga et à Doucen respectivement, sont convaincues que ces produits sont dangereux. D'autre part, 35% des agriculteurs ont considéré le risque sur la santé humaine plus important, contre 4% à Ain Naga et 8% Doucen seulement sont conscients que l'environnement est aussi menacé.

C'est pour ça que, 51% et 61% des agriculteurs à Ain Naga et à Doucen, respectivement ont vu que l'utilisation des produits phytosanitaires est nécessaire pour produire (Tableau 26).

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

Tableau 26 : Connaissance des agriculteurs concernant les pesticides leurs risques associées

Questions		Ain Naga	Doucen
		Fréquence n(%)	
Etes-vous bien informés sur les risques des pesticides ?	Oui	3(6%)	3(6%)
	Non	27(57%)	33(67%)
	Pas vraiment	17(36%)	13(27%)
	Total	47(100%)	49(100%)
Pensez-vous que les pesticides sont dangereux ?	Oui	37(79%)	33(67%)
	Non	10(21%)	16(33%)
	Total	47(100%)	49(100%)
Pour qui ces produits présentent un danger ?	Santé Humaine	17(36%)	17(35%)
	Environnement	2(4%)	4(8%)
	Tout	17(36%)	12(24%)
	Rien à signaler	11(23%)	16(33%)
	Total	47(100%)	49(100%)
Pourquoi utilisées les pesticides ?	Nécessaire pour produire	24(51%)	30(61%)
	Pas d'alternatives efficaces	12(26%)	19(39%)
	Tout	11(23%)	0%
	Total	47(100%)	49(100%)

III.B.2.3. Application des pesticides et comportements des agriculteurs

III.B.2.3.1. Choix, et approvisionnement des pesticides

Pour le choix des pesticides, 43% et 57% des maraîchers à Ain Naga, et à Doucen, respectivement ont fait référence aux vendeurs des produits phytosanitaires. Ces derniers, assurent fortement l'approvisionnement des PPPs pour plus de 91% des maraîchers des sites enquêtées (Figure 44).

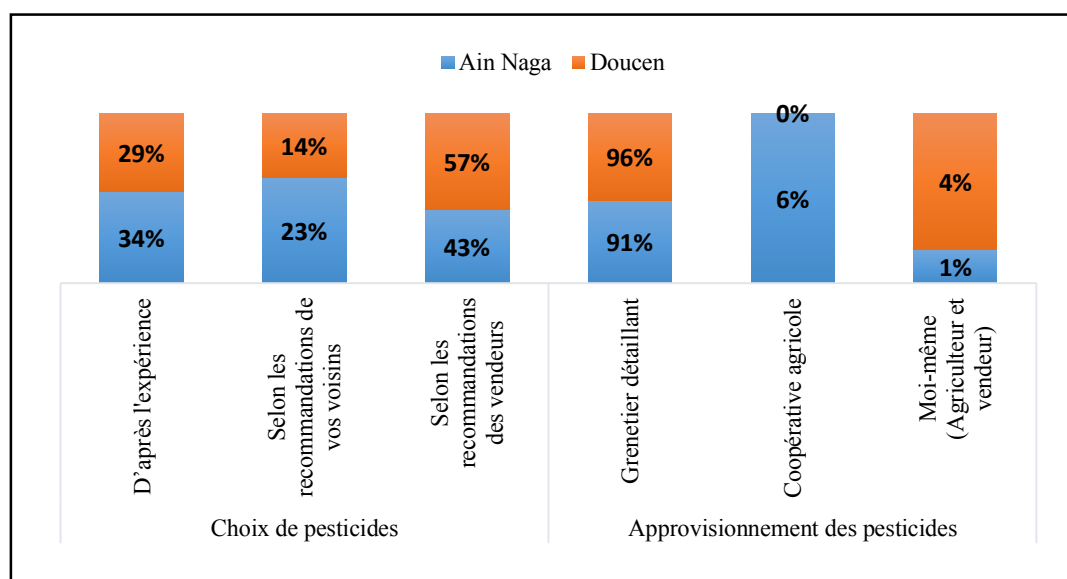


Figure 44 : Choix, et approvisionnement des pesticides

III.B.2.3.2. Stockage des pesticides

Plus de la moitié des maraîchers ont confirmé qu'ils ne disposent pas d'un endroit ou d'un local bien aménagé réservé pour le stockage des produits sensibles dans leurs exploitations. Puisque, ils préfèrent les acheter selon le besoin, et en cas de nécessité.

Néanmoins, 20% et 25% des maraîchers d'Ain Naga et de Doucen, respectivement préservent une serre spéciale, pour mettre les pesticides achetés avec leurs équipements de travail, leurs vêtements, et parfois même les plants des cultures à planter (Tableau 27 et Figure 45).

Tableau 27 : Local de stockage

	Ain Naga	Doucen
	Fréquence n(%)	
Non, j'apporte selon le besoin	28(60%)	26(53%)
Oui, un locale bâti non aménagé	9(19%)	11(22%)
Oui, une serre spéciale pour le stockage	10(21%)	12(25%)
Total	47(100%)	49(100%)



Figure 45 : Stockage de pesticides (Photos originales)

- (a) Pesticides dans une serre comportant une culture ; (b) Différents pesticides, engrais et autres matériel dans une serre spéciale.

III.B.2.3.3. Les appareils utilisés pour les traitements des cultures

La lutte chimique nécessite l'utilisation des appareils spéciaux, mais les pulvérisateurs tractés à une citerne sont le type préféré par 47%, et 49% des agriculteurs enquêtés à Ain Naga et Doucen, respectivement.

Le pulvérisateur équipé par un moteur, les rampes et les lances sont adoptés par 20%, et 41% des agriculteurs enquêtés à Ain Naga et Doucen, respectivement ; ces derniers sont plus efficaces dans les grandes surfaces (serres canariennes, serres multichapelles).

Par contre, les maraîchers enquêtés d'Ain Naga (4%) et ceux de Doucen (39%) ont déclaré que le pulvérisateur à dos (à pression entretenue ou à pression préalable) sont maniables, facile à porter et à utiliser dans les serres de petites surfaces (Figure 46 et Figure 47).

III.B.2.3.4. Le chargé de l'application des pesticides

Le traitement des cultures à Doucen s'opère généralement par l'agriculteur lui-même (65%), mais au niveau d'Ain Naga, ce sont des applicateurs qualifiés (43%), ou non qualifiés (21%) qui se chargent de ce travail (Figure 46).

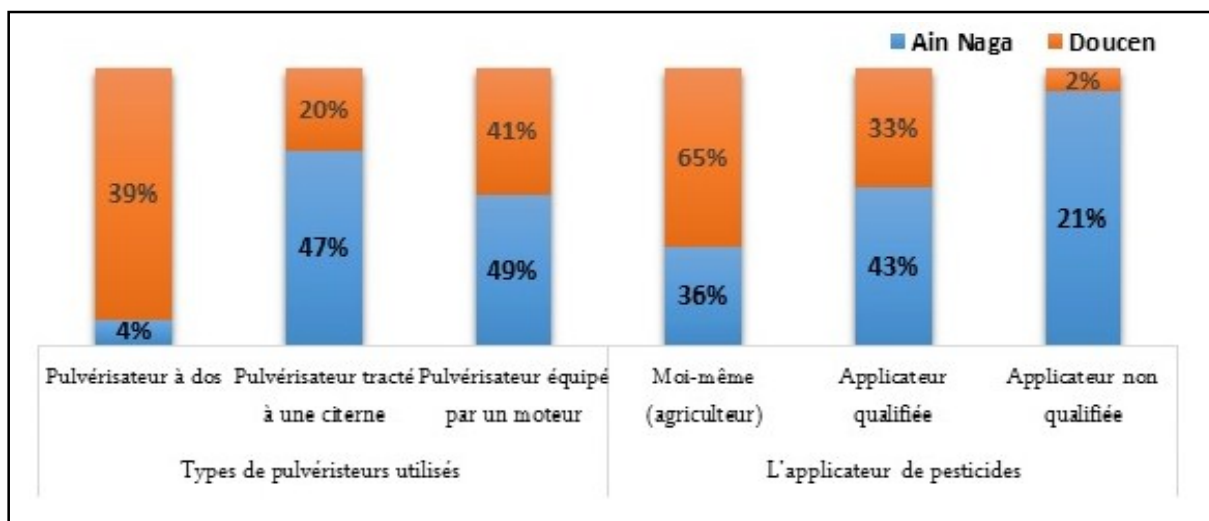


Figure 46: Types de pulvérisateurs utilisés, et le chargé des traitements des cultures

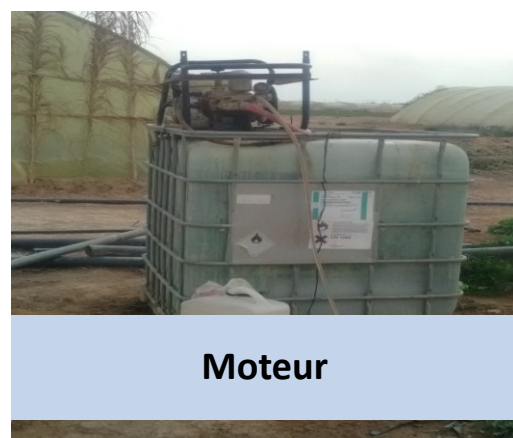


Figure 47 : Les appareils utilisés pour les traitements des cultures (Photos originales)

III.B.2.3.5. Entretien des pulvérisateurs

La majorité des agriculteurs enquêtés (plus de 92%) ont confirmé qu'ils garantissent constamment le contrôle de leurs pulvérisateurs avant l'application (lavage et rinçage, contrôle régulier de la pression et des conduites, etc.) (Figure 48).

Cependant, 64% et 33% des agriculteurs d'Ain Naga et de Doucen, respectivement, ne donnent pas de l'importance au contrôle du pulvérisateur à la fin de chaque opération du traitement (Figure 48).

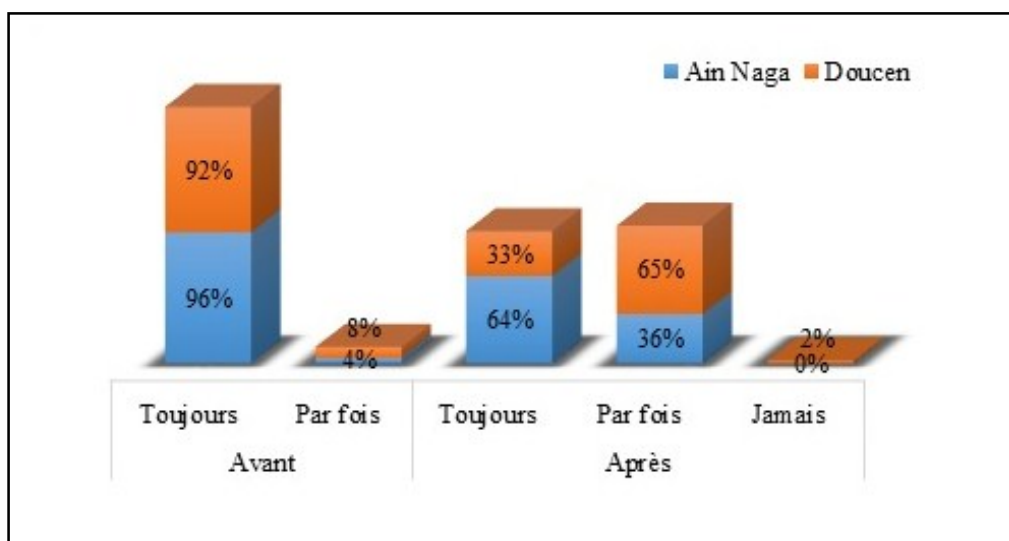


Figure 48 : Entretien des pulvérisateurs avant et après

III.B.2.3.6. Les précautions à prendre lors de l'application des produits phytosanitaires

L'habillement des vêtements de protection bien sécurisés est strictement recommandé lors de chaque manipulation ou application de PPPs sur les cultures, afin de minimiser le danger d'exposition.

Les agriculteurs enquêtés à Ain Naga (57%) et à Doucen (59%) ont déclaré qu'ils ne portent pas d'équipement de protection individuelle (EPI) (combinaison complète, gants et masque, foulard et chaussures semi-fermées, etc.), comme sont présentés dans les figures 49 et 50.

Donc, une telle attitude quotidienne est risqué et exposant sûrement leur santé. Seule une minorité d'entre eux qui préféraient porter les bottes uniquement, soient 17% et 27% à Ain Naga et à Doucen, respectivement.

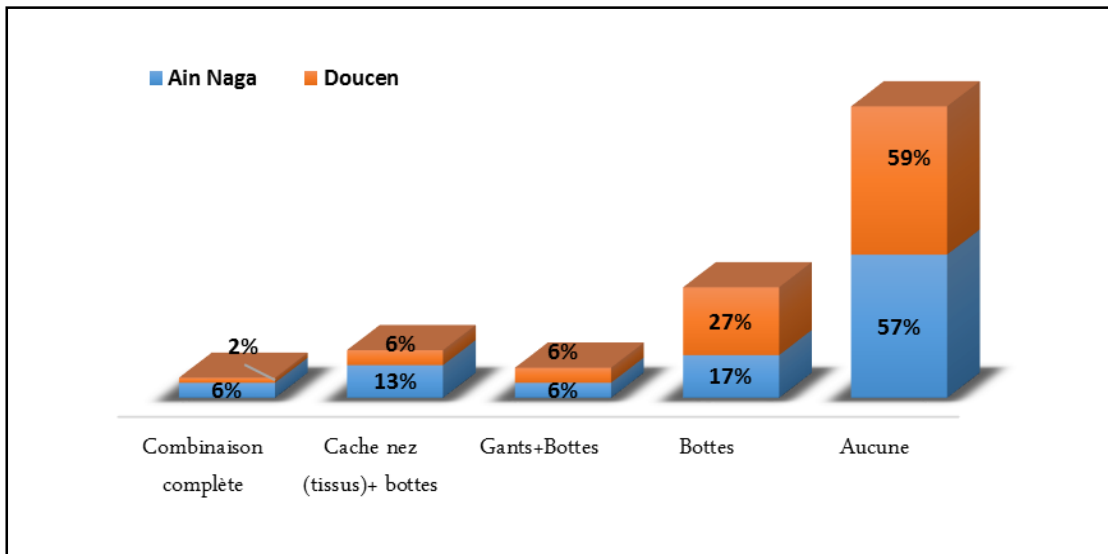


Figure 49 : Types d'équipements de protection personnelle utilisée comme précaution lors du traitement phytosanitaire



Figure 50 : Agriculteurs ne respectant pas les mesures de protection personnelle (Photos originales).

- (A) Agriculteur portant que les gants ;
- (B) Applicateur de pesticides sans protection personnel ;
- (C) Agriculteur portant des bottes et foulard comme cache nez.

III.B.2.3.7. Moments et fréquences des traitements

Durant la saison humide, plus de cinquante-sept pourcents des agriculteurs enquêtés à Ain Naga, et à Doucen traitent leurs cultures entre 02 à 03 fois. Par contre, durant la période sèche les températures s'élèvent, surtout à l'intérieur de la serre plastique, c'est pourquoi le nombre de traitements s'accroît. L'enquête réalisée indique que, plus de la moitié des agriculteurs traitent de 04 à 05 fois à Ain Naga, et de 06 à 08 Fois à Doucen (Tableau 28).

Tableau 28 : Moments et fréquences des traitements

		Ain Naga	Doucen
Saison humide	2 à 3 Fois	27(57%)	29(59%)
	4 à 5 Fois	17(36%)	18(37%)
	6 à 8 Fois	3(6%)	2(4%)
	Total	47(100%)	49(100%)
Saison Sèche	2 à 3 Fois	4(9%)	2(4%)
	4 à 5 Fois	24(51%)	21(43%)
	6 à 8 Fois	19(40%)	26(53%)
	Total	47(100%)	49(100%)

III.B.2.3.8. Lecture des étiquettes, respect des doses d'application, et des délais d'attente avant récolte

Un nombre non négligeable d'agriculteurs à Ain Naga (53%), et à Doucen (71%) n'ont pas assuré la lecture de l'étiquette sur les boîtes, l'emballage du pesticide (Figure 51).

Quant à la dose d'application, la majorité des agriculteurs d'Ain Naga (87%), et de Doucen (78%) ont affirmé le respect de la dose recommandée.

A propos le respect du délai d'attente avant récolte (DAR), 40% et 47% des agriculteurs d'Ain Naga, et Doucen, respectivement ont déclaré qu'ils assurent toujours le respect de la DAR. Cette étape est beaucoup critique et importante pour préserver la santé du consommateur qui achète leurs fraîches commodités du marché.

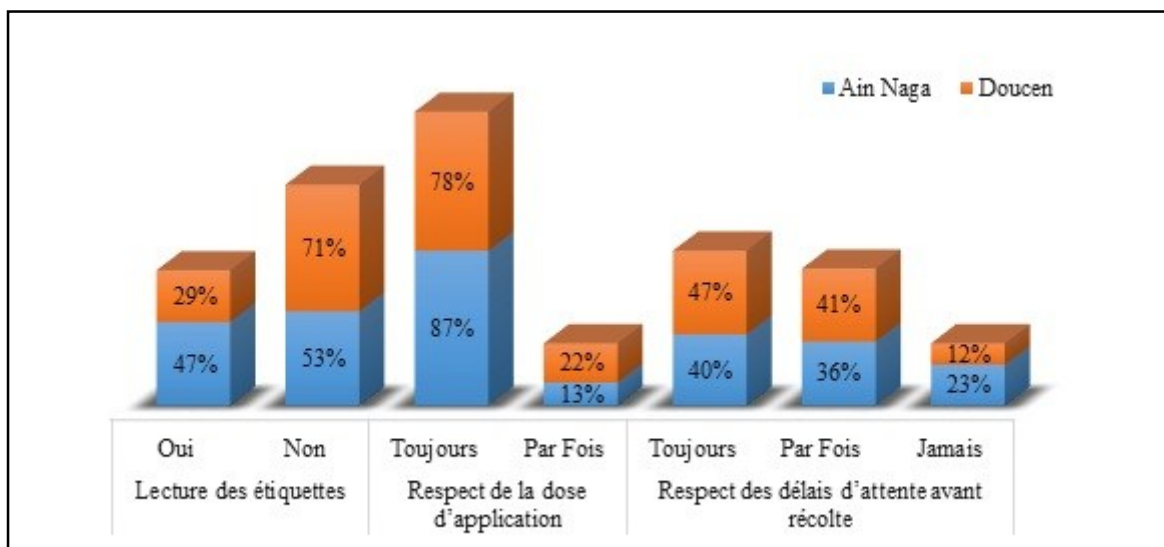


Figure 51 : Lecture des étiquettes, respect des doses d'application, et des délais d'attente avant récolte.

III.B.2.3.9. Mixage des produits phytosanitaires

En cas d'une infestions intense sur les cultures, le recours au mélange des formulations commerciales est souvent exercée comme une opération d'urgence.

Toutefois, il paraît que 57% et 67% des agriculteurs d'Ain Naga et Doucen, respectivement, ont mentionné qu'ils font parfois le mixage des PPPs.

En outre, 47% des agriculteurs de Doucen ont cité que le mixage d'une ou de deux produits est généralement un choix personnel. Par contre, 49% des agriculteurs d'Ain Naga n'ont rien signalé (Tableau 29).

Tableau 29 : Mixage des produits phytosanitaires

		Ain Naga	Doucen
		Fréquence n(%)	
Mixez-vous les produits phytosanitaires ?	Toujours	3(6%)	3(6%)
	Par fois	27(57%)	33(67%)
	Jamais	17(36%)	13(27%)
	Total	47(100%)	49(100%)
Sur quelle base vous mixez ces produits ?	Un choix personnel	16(34%)	23(47%)
	Une conseil du vendeur	8(17%)	17(35%)
	Rien à mentionnez	23(49%)	9(18%)
	Total	47(100%)	49(100%)

III.B.2.3.10. Hygiène après la pulvérisation des produits phytosanitaires

La Figure 52 expose que, les agriculteurs d'Ain Naga (51%) et de Doucen (65%) ont exprimé qu'ils préfèrent laver les mains et le visage comme attitude habituel pour réduire les risques sur la santé après l'application des produits chimiques.

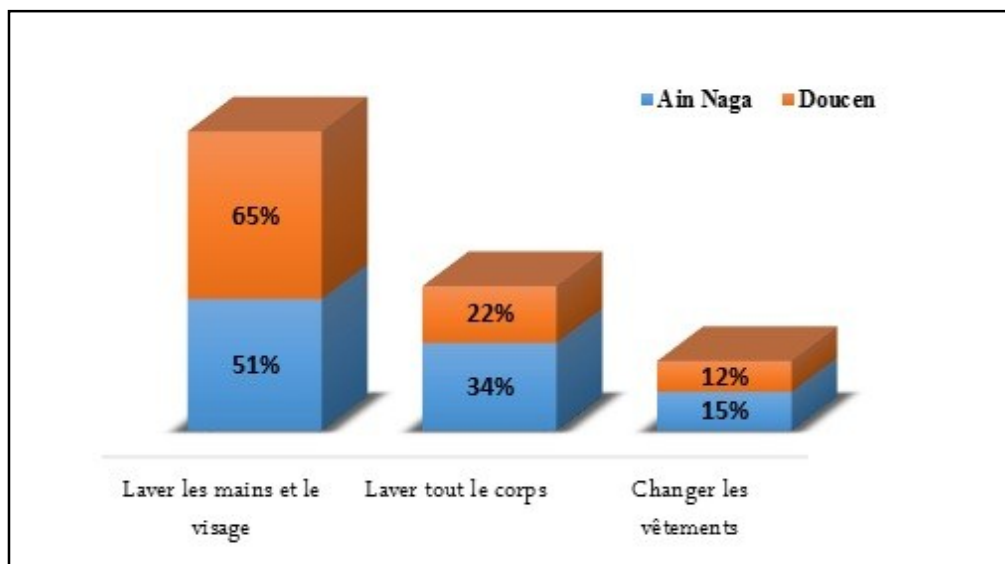


Figure 52 : Hygiène après la pulvérisation des produits phytosanitaires

III.B.2.4. Gestion des pesticides après application

III.B.2.4.1. Gestion des emballages vides des pesticides, et élimination des restes de pulvérisations

L'enquête a exposé un manque de gestion et un mauvais recyclage des emballages vides. Par exemple, 2% des maraîchers enquêtés à Doucen ont affirmé que ces emballages sont réutilisés pour d'autres fins, ce qui menace leur santé (Figures 53 et 54).

Alors que, les agriculteurs d'Ain Naga (53%) et de Doucen (69%) ont jeté ces emballages vides dans la nature, ce qui est considéré comme une action menaçante à l'environnement. Également, 49% et 51% des agriculteurs d'Ain Naga et de Doucen, respectivement ont l'habitude de jeter les restes de la bouillie de pulvérisation sur les champs, ou sur le sol en dehors de la serre, ou encore les finissent jusqu'à la dernière goutte.

Étonnamment, certains maraîchers (6% à Ain Naga, et 10% à Doucen) ont mentionné qu'ils n'éliminent pas le reste de la pulvérisation, mais ils les préservent pour les réutiliser plus tard, à la prochaine application.

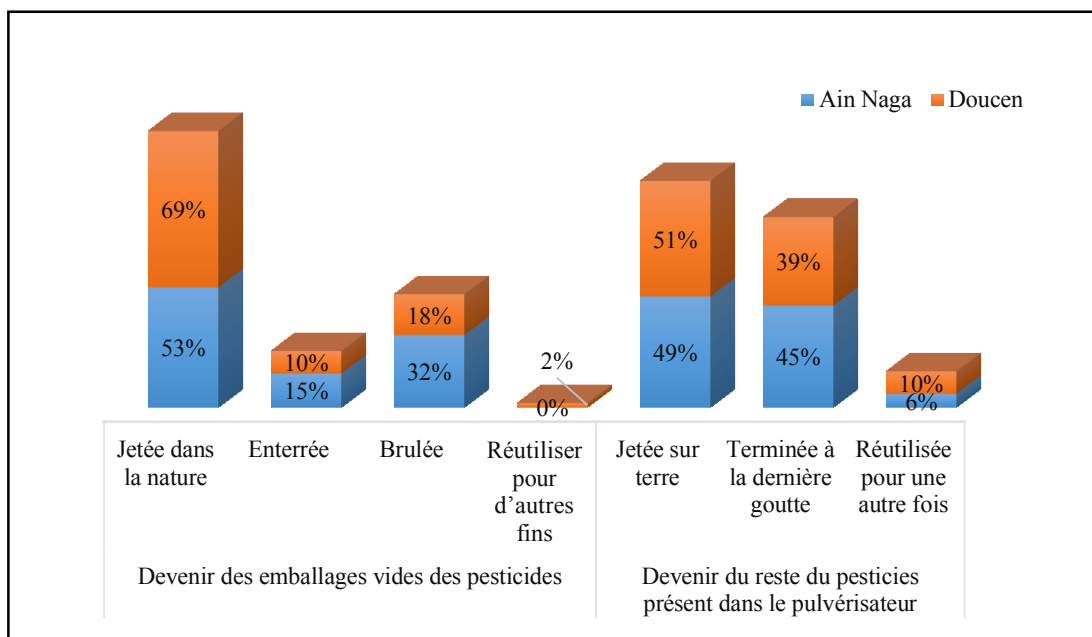


Figure 53 : Gestion des emballages vides des pesticides, et élimination des restes de pulvérisations



(a)



(b)

Figure 54 : Emballages vides (a, b) jetés par terre, et trouvés dans l'exploitation (Photos originales)

Etude Expérimentale

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

III.B.2.4.2. Effets et symptômes d'exposition des agriculteurs dus à l'usage des pesticides

Lorsque, les agriculteurs ont suivi une mauvaise manipulation et/ou application non sécurisée de produits phytosanitaires et exercent des habitudes incorrectes, surtout boire et manger dans la serre, tout cela les mise en danger d'exposition.

C'est alors que, 60% et 65% des maraîchers enquêtés au niveau des sites d'étude, respectivement ont confronté des problèmes de santé, durant ou juste après l'application des pesticides (Figure 55).

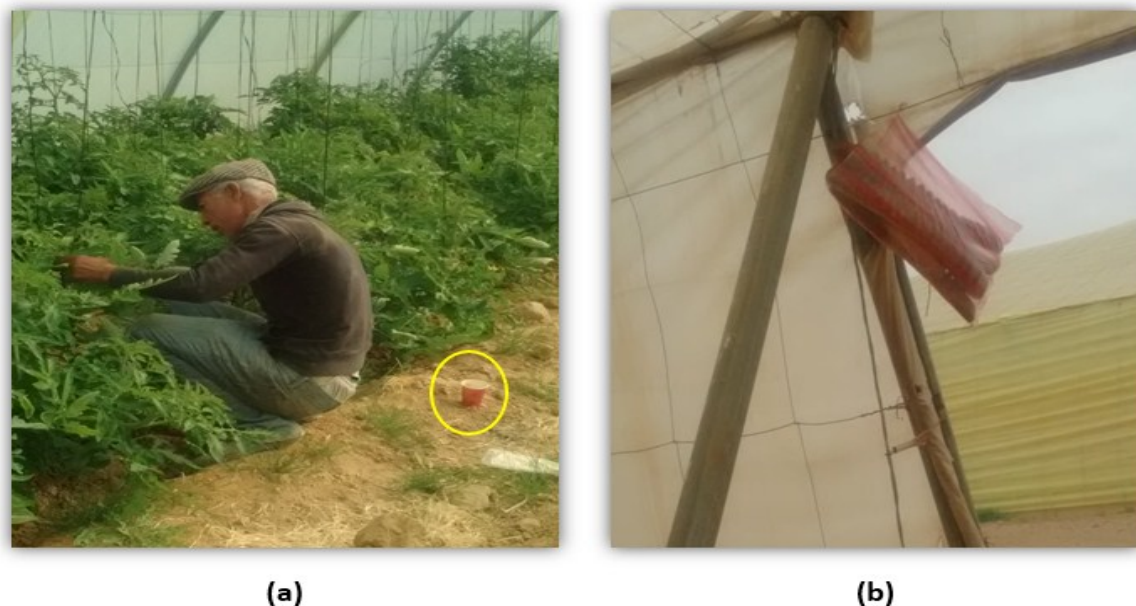


Figure 55 : Risque d'exposition lors d'un travail au sein de la serre (photos originales).

(a)Agriculteur buvant du café lors de son travail dans la serre ; (b) Agriculteur mettant le pain à manger dans le lieu de travail « serre »

Les majeurs effets, et les symptômes de malaises ressentis par ces maraîchers enquêtés suite à une exposition, sont généralement : Dermatologiques (irritations cutanées par contact direct), respiratoires (gorge sèche/pharyngée, douleurs thoraciques/brûlures, ou essoufflement/toux), et oculaires (yeux qui brûlent/picotements/démangeaisons).

En outre, la faiblesse, les maux de tête et les problèmes gastro-intestinaux (douleurs d'estomac/diarrhée, nausées/vomissements). Bien que, 40% et 35% des maraîchers enquêtés à Ain Naga et à Doucen, respectivement, n'ont rien signalé, les problèmes les plus

Etude Expérimentale

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

mentionnés par le reste des agriculteurs sont d'ordre respiratoire (28% à Ain Naga, et 29% à Doucen) et dermatologiques (15% à Ain Naga, et 16% à Doucen) (Figure 56).

Encore plus, des affections oculaires (11% à Ain Naga, et 8% à Doucen), et des sensations de faiblesse et de maux de tête (4% à Ain Naga, et 8% à Doucen). Cependant, l'occurrence des problèmes gastro-intestinaux sont faiblement signalés par les agriculteurs de Doucen (4%), et d'Ain Naga (2%) (Figure 56).

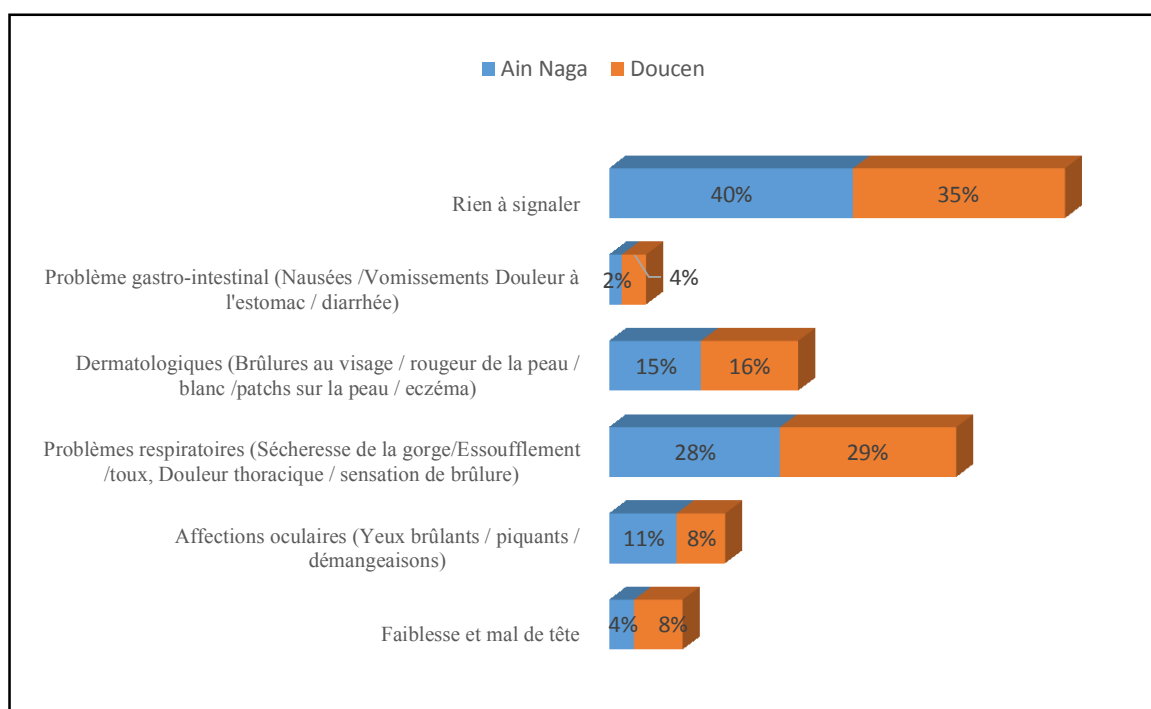


Figure 56 : Effets ressentis et symptômes d'exposition chez les agriculteurs enquêtés, et liés à l'usage des pesticides

III.B.2.4.3. Produits phytosanitaires cités et incriminés de causer des problèmes sanitaires

Il en résulte que, suite au mixage des formulations commerciales connues ou même inconnues, une totale de dix-sept cas de malaises sont déclarés par les agriculteurs au niveau des sites visités.

Les agriculteurs ayant ressenti de négatives répercussions sur la santé instantanément ou à long terme. Alors que, certains d'eux ont trouvé de difficulté à se souvenir ou à identifier le nom des formulations responsables de leur causé ces problèmes de santé.

Etude Expérimentale

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

Le tableau 30, montre qu'uniquement une minorité des agriculteurs enquêtés ont pu identifier quelques produits. Par exemple, les agriculteurs d'Ain Naga, ont cité deux produits : le CORAGEN 20 et l'EVISECT. Alors que, les agriculteurs de Doucen ont déclaré quatre produits : BRIK 10, KARATEKA, ROPHOSATE 480, et ZORO.

Pourtant, le VERTIMEC est un pesticide fréquemment utilisé dans les deux communes, les agriculteurs le considère très efficace et en même temps dangereux pour la santé, mais, selon la classification CLP (classification, étiquetage et emballage), l'ABAMECTINE semble être le plus dangereux pour la santé humaine. Nul doute, la majorité des substances actives commercialisés sont de nature toxiques, surtout après une exposition prolongée ou répétée

Tableau 30 : Pesticides suspectés par les agriculteurs enquêtés d'être la source de leurs problèmes de santé, en 2016 et 2017

Commune	Formulation commerciale	Substances actives	Classification OMS	Nombre de cas	Problèmes de santé ressentis
Ain Naga	VERTIMEC	ABAMECTINE	Ib	4	Irritations des voies respiratoires, dermatologiques, oculaires
	CORAGEN 20	CHLORANTRANILIPROL	U	3	Irritant pour la peau et irritant pour les yeux
	SPRAFER	2-NAPHTHYLOXY ACETIC ACID	II	2	Problème respiratoire et dermatologique, affections oculaires
	EVISECT	THIOCYCLAM HYDROGEN OXALATE	II	2	
	Pesticide inconnu	Inconnu	/	10	Fatigue et maux de tête
	Mixture of pesticides	Mixture of active ingredients	/	7	Affections oculaires
Doucen	BRIK 10	TAU - FLUVALINATE	III	1	Irritant pour la peau
	KARATEKA	LAMBDA-CYHALOTHRIN	II	1	Problèmes respiratoires, affections dermatologiques et oculaires
	ROPHOSATE 480	GLYPHOSATE	III	6	Dermatologique, affections oculaires
	SPRAFER	2-NAPHTHYLOXY	II	2	Problèmes respiratoires, affections dermatologiques et oculaires
	VERTIMEC	ABAMECTINE	Ib	4	Irritations des voies respiratoires, dermatologiques, oculaires
	ZORO			1	Irritant respiratoire, dermatologique, affections oculaires, gastronomiques.
	Pesticide inconnu	Inconnu	/	2	Vomissements, maux de tête et fatigue
	Mélange de pesticides	Mélange de substances actives	/	15	Respiratoire, dermatologique, Maux de tête
Acute Tox. 2 - H300: mortel en cas d'ingestion; Acute Tox. 3 - H301: nocif en cas d'ingestion; Acute Tox. 4 - H302: nocif en cas d'ingestion; Acute Tox. 4 - H312: nocif au contact de la peau; Skin Irrit. 2 - H315: provoque une irritation cutanée; Eye Dam. 1 - H318: provoque de graves lésions oculaires; Acute Tox. 2 - H330: mortel par inhalation; Acute Tox. 1 - H330: mortel par inhalation; Repr. 2 - H361d: suspecté d'endommager l'enfant à naître; STOT RE 1 - H372: provoque des lésions aux organes en cas d'exposition prolongée ou répétée.					

Etude Expérimentale

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

Non seulement, il semblait opportun de signaler qu'à cause des mal sensations ressentis après usage d'EVISECT et de SPAFER, ces produits ont été interdits et retirés du marché algérien, et du l'index phytosanitaire national depuis trois ans.

Cependant, la présente étude a révélé que ces deux produits sont toujours en usage dans les exploitations visités. Ces produits sont introduits par les marchés extérieurs et les frontières illégalement et fournis aux agriculteurs (Figure 57).



Figure 57 : Agriculteur confirme que le Spafer qui provoque le noircissement des mains et des irritations (photo originale)

III.B.2.5. Vulgarisation, et rôle des autorités institutionnels et techniques

L'enquête a confirmé le manque et/ou la défaillance de la vulgarisation et la sensibilisation fournis aux agriculteurs sur en matière des produits phytosanitaires (la nature toxique, les risques potentiels, l'utilisation sécurisé fortement recommandé, etc.).

Puisque, 100% et 94% des maraîchers enquêtes à Doucen et à Ain Naga, respectivement ont révélé qu'il n'y a pas de vulgarisation sur ce sujet, et que le rôle de l'autorité institutionnelle et technique est quasi absent (Figure 58).

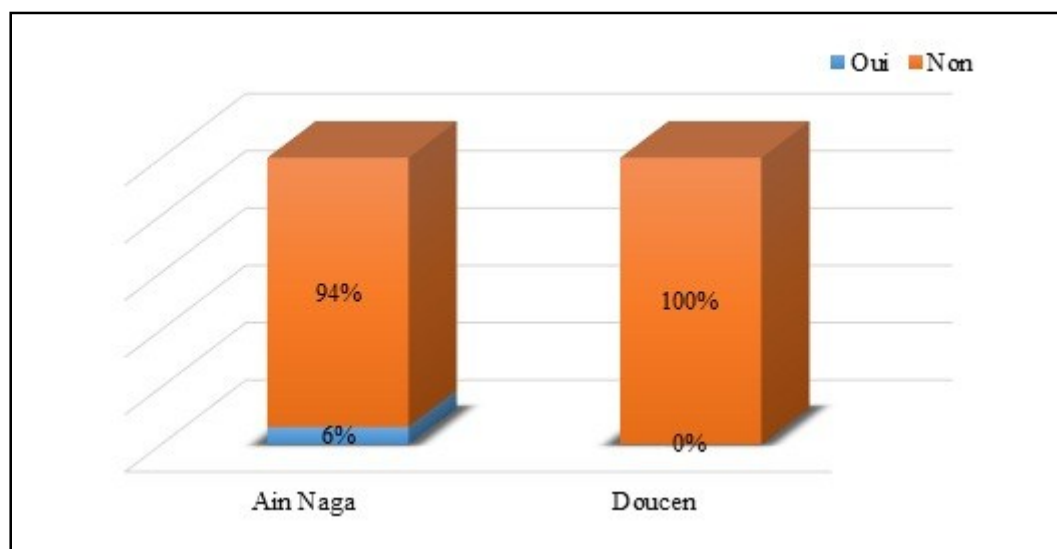


Figure 58 : Existence de séances vulgarisation, et de sensibilisation sur les produits phytosanitaires

III.B.3. Discussion

La présente étude a permis d'enquêter les maraîchers des deux communes d'Ain Naga et Doucen concernant leurs attitudes, leurs pratiques phytosanitaires suivies ainsi évaluer leur niveau de connaissance sur les pesticides.

La majorité des maraîchers enquêtés sont des hommes et s'occupent généralement des travaux laborieux. Cependant, la présence des femmes dans le secteur agriculture est considérée faible.

Signalons que, l'état algérien à fonder tout un programme dédié à la femme rurale, pour encourager et faciliter l'entrée de cette catégorie de la communauté dans ce secteur. Mais, il paraît que les femmes se chargent seulement de quelques activités d'une manière plus discrète sous serres et/ou en plein champs, aux stades de plantation et de la récolte.

Ce qui est en concordance avec d'autres auteurs (Adjrah et *al.*, 2013 ; Wognin et *al.*, 2014 ; Mahabali et Spanoghe, 2015 ; Gesesew et *al.*, 2016 ; Muliele et *al.*, 2017 ; Nguyen et *al.*, 2018 ; Wumbei et *al.*, 2019).

Concernant les caractéristiques socio-démographiques, les agriculteurs enquêtés sont de différentes tranches d'âges et ayants un niveau d'instruction distinct. Les agriculteurs d'Ain Naga sont des jeunes, ayant un niveau d'éducation secondaire et considéré plus intéressants que ces homologues de Doucen. Car, ces derniers sont plus âgés avec un niveau primaire. Nos résultats sont proches à celles trouvés dans autres travaux (Damalas et *al.*, 2006 ; Naré et *al.*, 2015 ; Sankoh et *al.*, 2016 ; ÖztaS et *al.*, 2018).

Il se trouve que, le secteur d'agriculture est à la fois intéressant et attractant. Parce qu'il n'exige pas un niveau d'éducation élevé ou une qualification professionnelle bien précise, ce qui permet aussi aux personnes sans profession de se lancer facilement dans ce domaine, conformément à Diop (2013) et Agnandji et *al.* (2018).

Toutefois, Jallow et *al.* (2017) qui ont souligné que les agriculteurs ayant un niveau d'éducation faible et/ou insuffisant sont les plus susceptibles de rencontrer de difficultés à lire correctement et respecter les règles d'application des pesticides et comprendre les consignes du risque sur l'étiquette des produits. C'est pourquoi, chaque agriculteur doit être à la fois conscience de la nature dangereuse des pesticides, et bien former 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).

En outre, la majorité des agriculteurs enquêtés n'ont pas bénéficié d'une formation professionnelle, et manquent la connaissance appropriée sur les produits phytosanitaires et leur utilisation sécurisés. Ces résultats sont en agrément avec celles trouvés à Biskra, sud-est de l'Algérie (Ramdani et *al.*, 2009 ; Belhadi et *al.*, 2016), et dans d'autres pays comme au Pieria, Nord de la Grèce (Damalas et *al.*, 2006), au Sud Est du Benin (Ahouangninou et *al.*, 2011), au Burkina Faso (Naré et *al.*, 2015), à la Sierra Leone (Sankoh et *al.*, 2016), et au Bangladesh (Alam et Wolff, 2016).

Toutefois, la plupart présentent une expérience professionnelle qui varie de 0 à 19 ans dans le domaine de l'agriculture, malgré cela ils rencontrent toujours de problèmes avec ces produits. Mais, les années d'expérience semblent moins intéressante si en les compare avec d'autres pays, par exemple, au Sud-Est de l'Inde, avec plus de six ans d'expérience les agriculteurs maîtrisent bien les techniques agricoles et l'utilisation des pesticides (Satya Sai et *al.*, 2019). Au Bangladesh, l'expérience de travail étant de 10 à 15 ans (Shammi et *al.*, 2018), cependant au Liban, en moyenne 31 années d'expérience avec en moyenne 6,49 heures par jour de travail sur terrain (Mardigian et *al.*, 2019).

Également, la majorité de nos agriculteurs enquêtés manquent de formation agricole et professionnelle pour exercer ce métier. Parce qu'ils considèrent ce métier facile, généralement familiale et au pire des cas, ils comptent sur leurs voisins fermiers pour les conseils.

Souvent, les agriculteurs ayant un faible ou modeste niveau d'instruction, et une expérience professionnelle insuffisante ont trouvé des difficultés à identifier la cause d'apparition des dégâts occasionnées sur leurs cultures. Donc, le recours aux vendeurs détaillants de pesticides demeure comme la seule solution pour la prescription des produits phytosanitaires adéquats à appliquer.

Néanmoins, plus de 61% des maraîchers enquêtés dans cette étude ont affirmé leurs capacités de reconnaître les problèmes phytosanitaires sur leurs cultures. D'un autre côté, les agriculteurs enquêtés dans cette étude sont conscients que ces produits sont dangereux, mais il s'avère qu'ils n'ont pas beaucoup d'expérience avec l'utilisation des pesticides et plus de la moitié de ces agriculteurs ne dévoilent pas une connaissance appropriée sur ces produits

et leurs risques associés. Contrairement, aux agriculteurs de la commune de Sahiwal, Pakistan, qui avaient une expérience allant de 5 à 10 ans, connaissent les dangers potentiels des pesticides, et appliquaient les mesures de sécurité (Mubuschar et *al.*, 2019).

En revanche, la majorité des agriculteurs au Ghana (Wumbei et *al.*, 2019), et au Sud du Togo (98,16%) (Mondedji et *al.*, 2015) sont au courant des dangers liés à l'utilisation des pesticides sur la santé humaine et animale.

Seulement une minorité d'agriculteurs ont considérés ces produits dangereux sur la santé humaine, et tant sur l'environnement, ce qui est en concordance avec Jansen et Harmsen (2011), Teklu et *al.* (2015), Belhadi et *al.* (2016), Mengistie et *al.* (2017), et Boukhalfa et *al.* (2018).

Malgré cela, les agriculteurs ont évoqués l'absence des alternatives efficaces sur le marché rend l'emploi de ces produits inévitable. D'après Muliele et *al.* (2017), la plupart des maraîchers de la province de Nkolo, en République Démocratique du Congo, sont convaincus qu'il n'est pas possible d'obtenir un produit bon, exempt de maladies, sans l'utilisation des pesticides. Weng et Black (2015) ont souligné que les agriculteurs sont sûrs de l'efficacité de ces produits à contrôler les ravageurs et les maladies.

De façon générale, le comportement de l'agriculteur, son niveau d'instruction, de connaissance, et l'expérience acquise conditionnent la protection phytosanitaire des cultures et l'usage des pesticides.

Jusqu'ici, les vendeurs des produits phytosanitaires jouent un rôle important, surtout concernant le choix de ces produits. Cependant, les produits phytosanitaires sont généralement achetés selon leurs besoins uniquement, puis à cause du manque d'un local bien aménagé, et fermer à clé, ils les préservent dans une serre spéciale pour le stockage des équipements y compris les pesticides. Toutefois, la serre en plastique en principe, ne soit pas destinée à ce genre de stockage, notamment s'il s'agit de produits sensibles, en plus dans une région aride. Une telle stratégie risque d'endommager les formulations commerciales et augmenter le danger pour l'homme et l'environnement. Le mauvais stockage de pesticides pourrait altérer leurs propriétés chimiques, diminuer leurs efficacités, ou même les rendre très nocifs (Son et *al.*, 2018).

Concernant les appareils de traitement les plus choisies, on trouve les pulvérisateurs tractés à une citerne, suivi directement par les pulvérisateurs équipés par un moteur, les rampes et

Etude Expérimentale

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

les lances, et enfin le pulvérisateur à dos. Les agriculteurs enquêtés ont justifié cette préférence aux outils par la grandeur de la superficie à traiter et le coût des équipements.

Chez d'autres pays comme au Guyana (Spiller et Aleguas, 2008) et au Ghana (Afari-sefa et *al.*, 2015), le coût le plus élevé conditionne le choix des équipements, donc les pulvérisateurs à dos et les pulvérisateurs motorisés sont les plus favorisées (Nguyen et *al.*, 2018).

Par la suite, l'application des produits phytosanitaires s'exerce soient par l'agriculteur lui-même (comme le cas des agriculteurs de Doucen) ou recrute des opérateurs qualifiés et chevronnés (comme le cas des agriculteurs d'Ain Naga).

Malgré cela, à tout moment, l'agriculteur risque d'être exposé (la cueillette, la récolte, la coupe, l'entretien, l'inspection, l'irrigation) (Toumi et *al.*, 2017a). Comme, il se peut que les appareils utilisés aussi soient une source importante directe d'exposition pour l'applicateur (Botwe et *al.*, 2017).

En terme type d'appareil, l'exposition via les pulvérisateurs manuels est plus importante que par les pulvérisateurs motorisés (Boissonnot, 2014). D'après Wolfe et *al.* (1967), le pulvérisateur à dos expose l'applicateur à 37 % de la dose toxique par heure de travail, pendant et après la pulvérisation.

Bien que, les bonnes pratiques agricoles (BPA) exigent l'entretien et la vérification du matériel de pulvérisation avant et après l'utilisation des pesticides (FAO, 2002 ; Damalas et Eleftherohorinos, 2011) pour garantir l'efficacité de la lutte chimique et la sécurité des opérateurs. La bonne maîtrise des techniques d'application des pesticides réduit les pertes et garantie sûrement la répartition la plus homogène que possible de ces produits sur les cultures (Boukhalifa, 2016).

Signalons que, la plupart des agriculteurs enquêtés ont assuré le réglage, la vérification et le contrôle de leurs pulvérisateurs avant le traitement des cultures. Par contre, juste après la fin de l'opération de traitement, l'entretien et le nettoyage des outils utilisés n'est pas forcément garantie par tous les agriculteurs. Il est opportun de mentionner que les directives de l'FAO (2002) concernant le nettoyage du matériel de pulvérisation après le travail sont claires, un rinçage des outils avec de l'eau, trois à quatre rinçages rapides est obligatoire, ce qui peut assurer un nettoyage complet et suffisant du pulvérisateur à dos.

Cependant, nos agriculteurs enquêtes préfèrent généralement laisser cette opération pour la prochaine utilisation ; en raison qu'ils oublient des fois, ou ils ressentent la fatigue.

Mais, il paraît que les agriculteurs enquêtés à Doucen sont les moins prudents.

À propos la portée des équipements de protection individuel (EPI), la plupart des agriculteurs enquêtés ne se soucient pas et préfèrent travailler sans EPI, surtout lors des traitements chimiques sous serres. Un résultat similaire a été rapporté par De Bon *et al.* (2014), Mondedji *et al.* (2015), Son *et al.* (2017) et Ahouangninou *et al.* (2019).

Un tel comportement est souvent justifié par le manque de ressources et d'accès à ces équipements, le coût élevé, la température élevée dans la serre et le sentiment de malaise ressentie lors d'habillement de ces équipements, conformément à Issa *et al.* (2010). Alors que, la réglementation dans les pays en voies de développement est quasi absente, comme a souligné Wilson et Tisdell (2001).

Les agriculteurs, notamment ceux qui ne portent pas de vêtements de protection efficaces et sont en contact direct avec les pesticides risquent généralement d'être exposé et avoir des intoxications aiguës et chroniques. Ce qui est similaires aux remarques de Forget (1991), Issa *et al.* (2010), Al-Sa'ed *et al.* (2011), Damalas et Eleftherohorinos (2011), Wong *et al.* (2018), et Son *et al.* (2018).

La non-lecture de l'étiquette sur les boîtes et les emballages des pesticides est un comportement suivi par la plupart des maraîchers enquêtes. Ce résultat est en agrément avec celui de à Damalas et Khan (2016). En revanche, 34.4 % des agriculteurs à Sahiwal, Punjab, Pakistan irrégulièrement lisent les instructions (Mubuschar *et al.*, 2019). Il se peut que, cette attitude soit le résultat d'un faible niveau de scolarisation, la dépendance aux instructions des vendeurs, ou même à leur habitude à utiliser fréquemment certains types de pesticides.

Concernant le respect de la dose d'application pour assurer l'efficacité du pesticide choisi et la bonne protection phytosanitaire des cultures, la majorité des agriculteurs enquêtes ont déclaré le respect de la dose recommandée par leurs vendeurs. À l'opposé, la dose recommandée par le fabricant de pesticides est rarement respectée, à Nkolo, République Démocratique du Congo (Muliele *et al.*, 2017).

Tandis, pour le délai d'attente avant récolte (DAR), l'enquête révèle le non-respect de cette période. Cependant, elle est différemment estimée par les maraîchers de Nkolo, et ne dépend

pas du produit (Muliele et *al.*, 2017), et relativement faible (4,4 jours en moyenne), ce qui peut contribuer à livrer aux consommateurs des légumes contaminés par les résidus de pesticides (Ahouangninou et *al.*, 2019). Outre, Kpan Kpan et *al.* (2019) ont observé que les DAR assez longs font appel à des dépenses additionnelles (la perte des cultures et un apport supplémentaire de pesticides), ce qui ne permet pas un gain d'argent immédiat.

Alors que, Louchachi (2015) a souligné que dans l'absence de contrôle sur les marchés et les demandes incessantes des populations en produits agricoles, on trouve que la majorité des agriculteurs, le manque de connaissance concernant les règles de sécurité et sur l'importance de la DAR des cultures ce qui expose à la fois la santé de l'agriculteur et du consommateur. Sans oublier que l'agriculteur lui-même est à la fois manipulateur de pesticides et consommateur des produits maraîchers est confronté doublement au risque des pesticides.

Nul doute, le mélanger des formulations commerciales se fait au moins une fois dans les traitements, et cela a été confirmé par plus de la moitié des maraîchers enquêtés. En plus, 47 % des agriculteurs d'Ain Naga ont déclarés que le mixage de produits est une décision personnelle. Un résultat similaire a été rapporté par Muliele et *al.* (2017) à la République Démocratique du Congo, et le pire, c'est que le mixage se fait sans prise en compte la compatibilité ou non des pesticides. Cependant, Manyilizu et *al.* (2015) et Ntow (2006) ont rapporté que le recours à l'usage de mélange (cocktails) de pesticides étant une stratégie de lutte contre les nuisibles destructifs, conduit généralement à un surdosage et stimule le développement de la résistance des parasites.

Donc, si l'agriculteur cherche à intensifier les traitements ou à augmenter les dosages, cela est considéré un comportement incorrect et qui entraîne souvent des conséquences négatives, comme des intoxications et de la contamination. Notons que, le nombre de traitements des cultures est toujours en fonction des conditions climatiques, et le taux de propagation des maladies et des attaques parasitaires. Nos résultats obtenus sont superposables à ceux rapportés dans trois communes de Biskra (Est -Ziban) (Belhadi et *al.*, 2016), dans cinq régions administratives du Togo (Kanda et *al.*, 2013), en Afrique subsaharienne (De Bon et *al.*, 2014), dans deux districts du Sud-Bénin (Agnandji et *al.*, 2018).

En outre, la moitié de nos agriculteurs enquêtés ont suivi un comportement d'hygiène habituel similaire, qui se résume par le lavage des mains et du visage. Selon Damalas et

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

Eleftherohorinos (2011), et Cocco (2016), l'hygiène de l'agriculteur et de l'applicateur de pesticides une routine à suivre pour minimiser largement le risque d'exposition.

Alors que, Mrema *et al.* (2017) ont observé que la carence de l'eau oblige les habitants des zones rurales en Tanzanie à se laver le corps occasionnellement après l'application de pesticides

D'une part, plus de la moitié des agriculteurs enquêtés vont avec le rejet des emballages vides des pesticides dans la nature une solution facile, mais dangereuse. Des pratiques phytosanitaires semblables exposent énormément l'environnement. Pareil à notre résultat, l'incinération présente aussi une solution radicale dans les pays en voies de développement, comme au Benin (Ahouangninou *et al.*, 2013), au Togo (Kanda *et al.*, 2013) et en république démocratique du Congo (Muliele *et al.*, 2017).

Encore plus, 2% des agriculteurs enquêtés à Doucen ont confirmés la réutilisation des conteneurs vides pour d'autres fins. Le même attitude a été remarquée sur 77 % des agriculteurs éthiopiens (Mekonnen, 2002) et au Ghana (Afari-sefa *et al.*, 2015).

Selon Schiffers et Mar (2011), ce comportement risque d'exposer la santé humaine, puisque les résidus de pesticides présentent une affinité pour persister à l'intérieur des conteneurs.

Toutefois, les directives de l'FAO (2008) expriment que les emballages vides de pesticides doivent être soigneusement nettoyés soit par buse de rinçage autorisée ou par un triple rinçage manuel avant la destruction final (brûlés et rendus inutilisables), et enfin les enfouir de plus d'un mètre plus loin des sites où se trouve l'eau de surface ou l'eau souterraine.

Parce qu'un abondant des emballages de pesticides vides au champ finit souvent dans le cours d'eau, et occasionne la contamination des nappes souterraines (Muliele *et al.*, 2017), comme le cas des zones de maraîchage au Burkina Faso, les résidus de pesticides ont été détectés dans les eaux de surface et souterraines (Lehmann *et al.* (2017).

Signalons que pour minimiser les risques pour la santé humaine et l'environnement, l'FAO (2008) a proposée et développée plusieurs méthodes en matière de gestion des emballages de pesticides vides. Puis, en Tunisie, Bensalem *et al.* (2019) ont réussi à développer un bio-détergent capable à nettoyer, dégrader les pesticides et décontaminer les pulvérisateurs et les conteneurs vides.

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

Pareillement, les agriculteurs enquêtés se débarrassent des bouillies et les restes de pulvérisations de différentes manières : les jettent sur les champs et en dehors de la serre, les finissent à la dernière goutte ou même les stockent pour la prochaine application.

Selon l'FAO (2002), pour éviter l'excédent de la bouillie, il faut respecter la quantité avant de l'appliquer sur la culture, et les produits de rinçage doit être récupéré, étiqueté et stocké comme produit diluant pour une prochaine application. Tandis, le stockage d'une préparation de pesticide déjà utilisé 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).

Au sujet de l'exposition des maraîchers interrogés, plus de 60 % ont déclarés avoir subi de problèmes de santé durant ou juste après l'application des pesticides. L'exposition des agriculteurs est fortement possible même pour ceux qui présentaient des années d'expériences dans ce domaine, et habituées à employer certaines formulations particulières, conformément à Wognin *et al.* (2014) et à Agnandji *et al.* (2018).

Quant à l'occurrence des complications sanitaires, indiquons que les problèmes respiratoires, puis dermatologiques étaient les plus signalés parmi les maraîchers enquêtés, en plus les affections oculaires et les sensations de faiblesse et de maux de tête. Alors que, les problèmes gastro-intestinaux étaient les moins mentionnés.

Néanmoins, les effets désagréables et les répercussions des pesticides sur la santé peuvent avoir longtemps pour être visibles (Garcia *et al.*, 2012). Il se trouve que l'exposition des agriculteurs due à une large gamme ou à une gamme identiques de produits chimiques toxiques, à des niveaux de concentration élevés ou faibles favorisant l'apparition de symptômes chroniques après un an ou plus (Badawy, 1998 ; Toumi *et al.*, 2017a).

Par conséquent, les symptômes chroniques et l'exposition professionnelle par les produits phytosanitaires ont été rapportés par plusieurs auteurs (Wesseling *et al.*, 2001 ; Garcia *et al.*, 2012 ; Neghab *et al.*, 2014 ; Yuantari *et al.*, 2015 ; Damalas et Koutroubas, 2016 ; Toumi *et al.*, 2017a ; Hutter *et al.*, 2018).

Pareillement, par tout dans le monde les pesticides causent chaque année l'empoisonnement de près de trois millions de personnes et la mort de 200 000 autres (Wilson et Tisdell, 2001 ; Naré *et al.*, 2015). En outre, près de 25 millions d'empoisonnements accidentels auprès des travailleurs agricoles (Carvalho, 2017).

III.B. Usage de produits phytosanitaires, et perception du risque

Concernant les produits interdits, la présente étude confirme l'usage de deux produits retirés du marché algérien depuis trois ans, il s'agit de l'Evisect et le Spafer. Tandis, deux produits interdits, le DDT et le Malathion ont été rapportés en usage et détectés dans la région d'Oran par Ayad-Mokhtari (2012) et dans la commune de Mouzaia à Mitidja par Lebig et Ait Amar (2013).

Étant donné que, l'agriculteur peut être convaincu d'une manière à réduire l'usage des produits chimiques toxiques, et même à l'encouragé à adopter lutte intégrée avec des biopesticides, comme rapportent Ahoungninou et *al.* (2019) et Khan et *al.* (2020). Mais malheureusement, les agriculteurs enquêtés dans la présente étude ont confirmé qu'ils n'ont pas bénéficié par l'aide technique, surtout concernant les produits phytosanitaires, leurs risques potentiels et l'usage sécurisé des produits toxiques. Ce qui implique que l'activité de vulgarisation n'est pas suffisamment assurée par l'autorité du secteur agricole, des instituts techniques et universitaires.

Bien que, les agriculteurs ont essayé de façon individuelle ou collective de trouver des solutions techniques aux problèmes rencontrés dans leurs exploitations, la vulgarisation reste un des moyens les plus efficaces pour aider et orienter les agriculteurs et leur présenter toutes les méthodes nouvelles, alternatives et efficaces pour les agriculteurs.

III.B.4. Conclusion

La présente étude a fait sortir que, les pratiques agricoles des maraîchers enquêtées au niveau de deux endroits différents, Ain Naga (Ziban Est) et Doucen (Ziban Ouest) sont très proches, et estimés plus au moins incorrectes et non sécurisés, notamment concernant l'emploi des PPPs. En outre, ils n'ont pas trouvé d'inconvénient d'utiliser des pesticides à grande échelle et peu importe la manière, car, seul le résultat final qui compte. C'est-à-dire l'essentiel, garantir une production de bonne quantité et qualité, des rendements importants et encaisser un revenu élevé.

Décidément ce n'est pas si facile que la plupart d'entre eux (agriculteurs et/ou consommateurs) n'avez pas de problèmes de santé sérieuses et multiples, suite à l'usage fréquent de PPPs.

Ici plusieurs facteurs interpellent à leurs expositions. Parmi lesquelles, le niveau d'éducation généralement faible, l'insuffisance d'expérience, le manque de formation adéquate. En plus, la faible connaissance sur les PPPs, la manipulation et la gestion incorrecte de ce genre de produits toxiques et les risques associés à leurs applications.

Subséquent, les répercussions des comportements risqués impactent aussi l'environnement. Nul doute, si la gestion des préparations de pesticides résiduels, et des emballages vides après une utilisation soient arbitraires et de façon non sécurisée. Et ceci va faire l'objet de la partie III.C.



**III. C. Evaluation du risque potentiel des
produits phytosanitaires avec le modèle
PERI**

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

III.C.1. Introduction

Garantir la production pour la population croissante ne peut pas justifier l'usage croissant et irraisonné des produits phytosanitaires. Ce qui est indéniable et inacceptable c'est qu'à chaque fois le recours à des doses supérieures aux normes et à des produits plus toxiques. Par conséquent, tôt ou tard la santé humaine et l'environnement vont payer la recette, cela a été déjà démontré et annoncé dans le monde entier.

Le déversement des polluants dans l'environnement, notamment les résidus de produits phytosanitaires est un problème sérieux menaçant toute l'écosystème. C'est pourquoi, l'évaluation des risques de pesticides sur l'environnement est jugée nécessaire. Les indicateurs de risques semblent être très utiles pour informer sur l'ampleur des dégâts potentiels de ces produits, même sont aussi envisageables en cas d'insuffisance de données, faciles à calculer et à communiquer (Feola et *al.*, 2011).

À cet effet, la présente partie est dédiée à l'indicateur de risque environnemental pour les pesticides PERI modèle. Ce modèle choisi pour évaluer le danger environnemental potentiel suivant une application continue des maraîchers à de divers pesticides sur l'horticulture au niveau des communes d'Ain Naga et Doucen.

III.C.2. Résultats

III.C.2.1. Identification et caractérisation des dangers

Durant la période d'enquête, 120 produits chimiques et 56 substances actives (s.a) sont identifiés à Ain Naga, contre 92 produits et 41 substances actives (s.a) recensés à Doucen. Cependant, seulement 18 (s.a.) sont trouvées en usage fréquent parmi les maraîchers enquêtés au niveau des deux communes. Ces produits sont énumérés dans le tableau 31.

La classification des (s.a.) en fonction des espèces nuisibles ciblées a fait sortir dix insecticides, cinq fongicides, trois herbicides.

Alors que, la caractérisation du risque environnemental de ces produits est en fonction des paramètres physico-chimiques et toxicologiques, et correspondants le règlement CLP (Classification, Labelling and Packaging). Il se trouve que, le diazinon et la trifloxystrobine sont tous deux très toxiques pour la vie aquatique, notamment en raison de leurs effets à long terme (base de données de l'UE, 2019).

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

Tableau 31 : Liste des dix-huit substances actives les plus utilisés dans les communes d'Ain Naga et de Doucen avec leur activité biologique, leurs propriétés physicochimiques (demi-vie du sol, Koc, GUS, Kow, Kh) et toxicologiques (LC50 pour les abeilles, les vers de terre et la Daphnie et CE50 pour Algues (PPDB, 2018 ; NCBI, 2018) et classification CLP selon la base de données de l'UE sur les pesticides (2019).

Pesticides active ingredients	Biological activity ^a	DT50 ^b	Koc ^c	GUS ^d	Kow ^e	Kh ^f (Pa m ³ /mol)	LC50 ^g Bees (mg/bee)	LC50 Worm (mg/kg)	LC50 Daphnia (mg/L)	EC50 Algae (mg/L)	CLP ^h Classification
Abamectine	I	25	5638	0,25	4,4	2,70×10-03	1×10-06	33	0	> 1,59	H400, H410
Acetamipride	I	1	200	0,4	0,8	5,30×10-8	8,09×10-03	9	49,8	>98,30	H412
Chlorantraniliprole	I	597	362	4,22	2,86	3,20×10-9	>0,10	>1000	0,01	>4,00	-
Cypermethrine	I	22	307558	-2	5,55	0,31	2,30×10-05	>100	0	>0,06	H400, H410
Diazinon	I	9	609	1,14	3,69	6,09×10-2	9×10-05	65	0	6,4	H400, H410
Fenbutatin oxide	I	365	-	-2,96	5,15	2,70×10-3	>0,20	>500	0,04	>0,00	H400, H410
Fluazifop-p-butyl	H	1	3394	0	4,5	0,04	>0,20	>500	>0,62	>0,67	H400, H410
Hexaconazole	F	122	1040	2,05	3,9	3,33×10-4	>0,10	414	>2,90	>1,70	H411
Hexythiazoxe	I	30	-	0,03	2,67	1,19×10-02	>0,11	>105	>0,47	>0,40	H400, H410
Hymexazole	F	30	-	2,63	0,3	1,40×10-04	>0,10	281,9	28	36	H412
Imidaclopride	I	191	-	3,74	0,57	1,70×10-10	3,70×10-06	10,7	85	>10,00	H400, H410
Indoxacarbe	I	113	4483	0,72	4,65	6×10-05	8×10-05	>625	0,17	0,07	H400, H410
Linuron	H	57	842,8	2,21	3	2×10 -04	>0,12	>1000	0,31	0,01	H400, H410
Mancozébe	F	0,05	998	-1,45	2,3	6,17×10-02	>0,08	>299	0,07	0,04	H400

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

Metribuzine	H	7	37,9	2,06	1,75	0,25×10-04	>0,08	427	49	0,02	H400, H410
Thiaclopride	I	0,88	-	-0,07	1,26	4,8×10-10	17,32×10-05	105	85,1	60,6	H400, H410
Triadimenole	F	250	750	3,34	3,18	3,5×10-06	>0,2	>390	51	9,6	H411
Trifloxystrobine	F	0,34	-	-0,3	4,5	2,30×10 -3	>0,11	>1000	0,01	0	H400, H410

Remarques:

a I: insecticide, y compris acaricide, F: fongicide; H: herbicide;

b DT50: demi-vie dans le sol (jour);

c Koc: coefficient de sorption du sol;

d GUS: score d'ubiquité des eaux souterraines;

e Kow: coefficient de partage;

f Kh: constante d'Henry;

g CL50: valeur de concentration létale.

h CLP: Règlement de classification (CE) n ° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548 / CEE et 1999/45 / CE et modifiant le règlement (CE) no 1907/2006. H400: Très toxique pour la vie aquatique; H410: Très toxique pour la vie aquatique avec des effets durables; H411: toxique pour la vie aquatique avec des effets durables; H412: Nocif pour la vie aquatique avec des effets durables.

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

III.C.2.2. L'indice de Gustafon (GUS) et caractérisation risque potentiel de contamination des eaux souterraines

Dix-huit (s.a.) avec une valeur d'indice de GUS qui correspond à une des trois catégories, sont présentés dans le tableau 32. Il se trouve que, neuf appartient à la première catégorie, c'est-à-dire ont présenté un faible potentiel de lessivage inférieur ($GUS < 1,8$), non lessivables et ne sont pas susceptibles de causer une contamination des eaux souterraines.

Quatre (s.a.), l'hymexazole, le linuron, l'indoxacarbe et le Diazinon, sont des substances limites et se retrouvent dans un « Intervalle de Transition » avec un potentiel de lessivage GUS comprise entre 1,8 et 2,8. En outre, cinq (s.a.) présentent un potentiel de lessivage élevé ($GUS > 2,8$). Donc, le chlorantraniliprole, l'imidaclopride, l'hexaconazole, le triadimenole et le métribuzine sont considérés des composés lessivables et susceptibles de contaminer les eaux souterraines par lixiviation et les eaux de surface par ruissellement.

Tableau 32 : L'indice de Gustafon (GUS) et les catégories de substances actives

Catégorie	Substances actives	Activité Biologique	Gustafon (1989)	
			GUS	Signification
GUS < 1,8	Abamectine	I	1,65	Non-lessivables
	Acetamipride	I	1,7	Non-lessivables
	Cypermethrine	I	-0,13	Non-lessivables
	Fenbutatin oxide	I	-2,96*	Non-lessivables
	Hexythiazoxe	I	0,03*	Non-lessivables
	Thiaclopride	I	-0,07	Non-lessivables
	Mancozébe	F	-0,3	Non-lessivables
	Trifloxystrobine	F	-0,30*	Non-lessivables
	Fluazifop-p-butyl	H	0,47	Non-lessivables
GUS entre 1,8 et 2,8	Linuron	H	2,83	Substances limites
	Hymexazole	F	2,63*	Substances limites
	Indoxacarbe	I	2,4	Substances limites
	Diazinon	I	2,17	Substances limites
GUS > 2,8	Chlorantraniliprole	I	4,22	Lessivables
	Imidaclopride	I	3,74*	Lessivables
	Triadimenole	F	3,52	Lessivables
	Métribuzine	H	3,27	Lessivables
	Hexaconazole	F	3,07	Lessivables

* : Extraite de la base de données PPDB (2019)

	Non-Lessivables
	Substances Limites
	Lessivables

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

III.C.2.2.1. Sites à risque potentiel de contamination des eaux souterraines

L'enquête réalisée a révélé que, différentes sites au niveau d'Ain Naga et Doucen appliquent plusieurs produits phytosanitaires sur les cultures maraîchères, mais, dix-huit (s.a.) sont récénces en usage commun au niveau des deux communes.

L'indice de Gustafon (GUS) calculé a indiqué que cinq composés à risque potentiel de contamination des eaux souterraines élevé (GUS supérieur à 2,8). Ces composés sont le chlorantraniliprole, l'imidaclopride, l'hexaconazole, le métribuzine et le triadimenole.

A la suite, la figure 59 a exposé les superficies totales traitées par chaque (s.a.) susceptibles de causer la contamination de l'eau dans les communes d'étude.

Egalement, la figure 60 a présenté en détails les différents sites d'Ain Naga et Doucen qui risquent la contamination des eaux souterraines par les cinq substances actives. C'est donc, treize sites à Ain Naga, contre dix sites à Doucen

La superficie totale traitée à Ain Naga par le chlorantraniliprole est 10,46 ha, réparties sur les sites de : Feidh Elsala (5,80 ha) > Horraya (3,80 ha) > Tabet Chanouf (0,86 ha). Au niveau de Doucen, la superficie totale traitée est 7,30 ha, réparties sur les sites de Tamda (5,92 ha) > Elmarhoum (0,9 ha) > Douice (0,48).

Pour le composé d'imidaclopride, la superficie totale traitée à Ain Naga est 21,14 ha, recensés sur les sites de Mansoria (12,86 ha) > Djalaya (3 ha) > Lmanisaf (2,52 ha) > Alb Ghenim (2,08 ha) > Tabet Chanouf (0,56 ha) > Sidi Salah (0,12 ha). En revanche, à Doucen, la superficie totale traitée est 13,87 ha, recensés sur huit sites lesquels, Berouth (6,48 ha) > Draa R'mel (2,13 ha) > El Amri (1,3 ha) > Noumer (1 ha) > Elmarhoum (0,9 ha) et Tamda (0,9 ha) > Maadher Khira (0,68 ha) > Douice (0,48).

Le fongicide hexaconazole a appliqué à Ain Naga sur une superficie totale égale à 23,12 ha et au niveau de huit sites lesquelles, Mansoria (8,32 ha) > Feidh Sala (5,8 ha) > Tabet Chanouf (3,72 ha) > Lamnisaf (2ha) > Horraya (1,76 ha) > Choucha (1 ha) > Ghemoug (0,28 ha) > Mabdouaa (0,24 ha). Alors qu'à Doucen, six sites utilisent l'hexaconazole lesquelles, Tamda (5,5 ha) > Draa R'mal (2,13 ha) > Elmarhoum (1,3 ha) > Maather Khira (1 ha) > Berouth (0,62 ha) > Elgutaa (0,16 ha), soit une superficie totale égale (10,71 ha).

Concernant, l'herbicide métribuzine est généralement faiblement appliqué sur les cultures maraîchères. À cet effet, la superficie totale traitée à Ain Naga par ce composé est 1,04 ha,

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

les sites concernés sont Horrara (0,8 ha) et Mabdouaa (0,24 ha). Par contre, à Doucen le même composé a été recensé à Tamda (0,86 ha), uniquement.

Concernant le triadiménole, la superficie totale traitée à Ain Naga est 18,04 ha, distribuées sur sept sites qui sont : Feidh Sala (5,80 ha) > Horrara (4,40 ha) > Lamnisaf (2,52 ha) > Zemoura (0,72 ha) > Nebka (0,6 ha) > Tabet Chanouf (0,56 ha) > Ghmoug (0,28 ha). Contrairement à Doucen, quatre sites avec une superficie totale traitée égale à 9,68 ha appliquent le triadiménole. Ils'agit des sites de : Tamda (6,82 ha) > El Amri (1,7 ha) > Noumer (1 ha) > Khafoura (0,16 ha).

Globalement, plus de trois composés sont appliqués sur un site sans restreint, mais cela accélère et augmente le risque de pollution des eaux souterraines par les composés, notamment pour celles qui présentent une tendance à quitter vers le sol et l'eau.

Cela s'applique sur quatre sites à Ain Naga qui est : Feidh Sala (17,4 ha), Horrara (10,76 ha), Tabet Chanouf (8,56 ha) et Lamnisaf (7,04 ha). En plus de deux sites à Doucen qui sont : Tamda (20 ha) et Elmarhoum (3,1 ha).

D'autant, l'utilisation répétée d'une de ces cinq (s.a.) favorise le risque de contamination des eaux souterraines pour certains sites visités d'une manière alarmante.

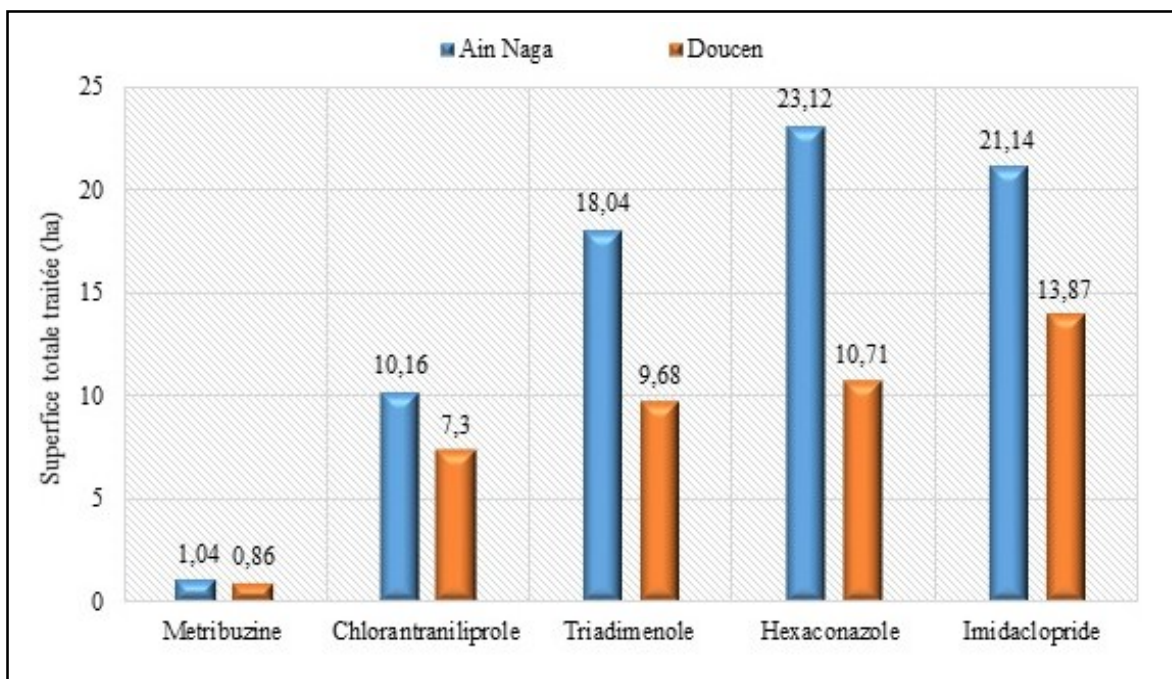


Figure 59 : Total des superficies traitées avec cinq substances actives susceptibles de causer la contamination de l'eau à Ain Naga et Doucen.

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

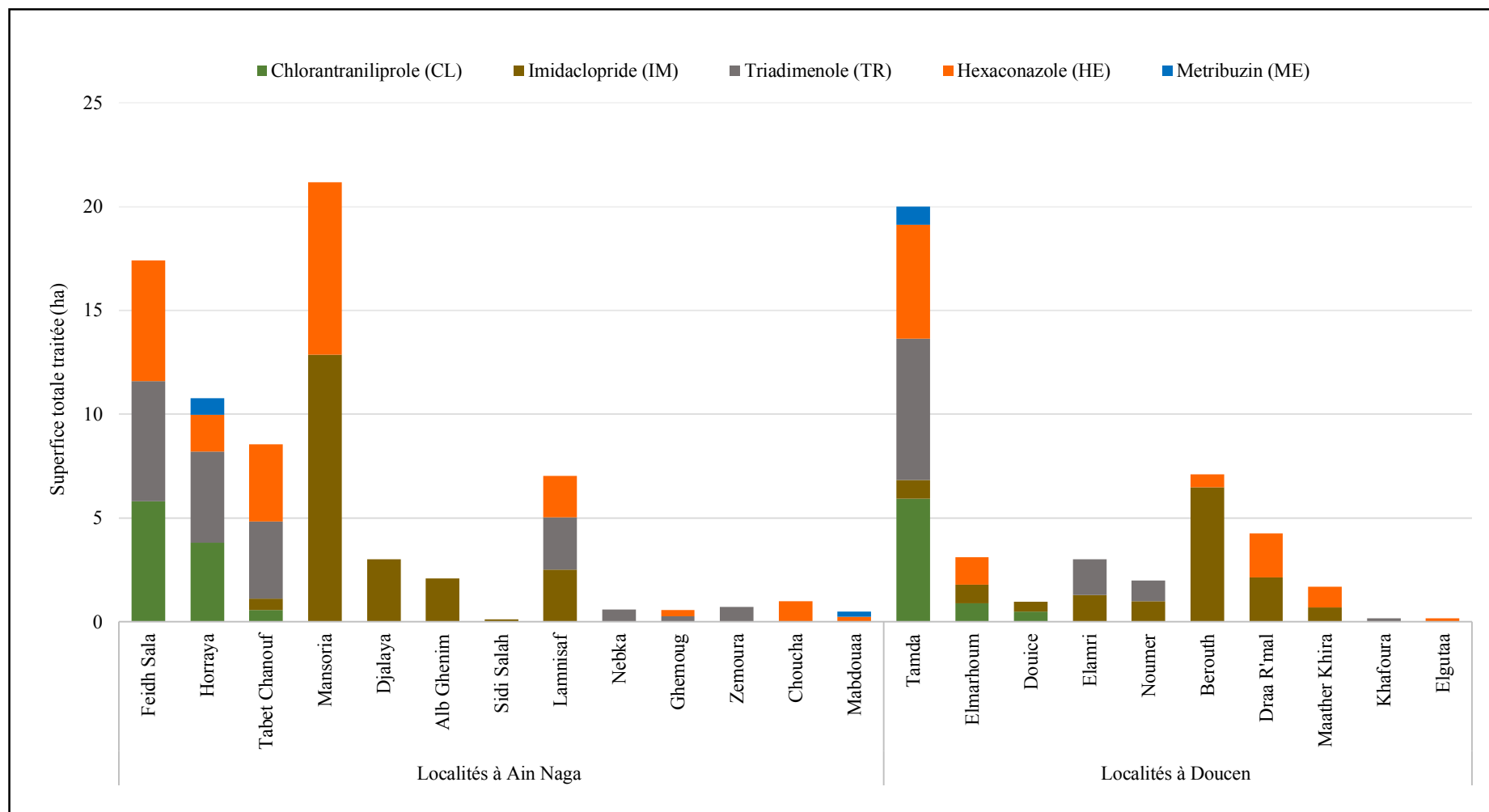


Figure 60 : Les différents sites d'Ain Naga et Doucen menacés par le risque de contamination des eaux souterraines par trois types de substances actives.

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

III.C.2.3. Caractérisation et calcul des risques environnementaux (ERS)

Les différentes composantes du modèle PERI et les données collectées, le score de risque environnemental pour les pesticides (ERS) calculé. Ensuite, les résultats sont répertoriés par ordre croissant d'ERS dans le tableau 33. Les scores des risques environnementaux (ERS) obtenus sont de 1,28 à 6,13. Après, six substances actives lesquels : linuron, hexaconazole, triadimenole, chlorantraniliprole, imidaclopride, et diazinon ont présenté un score ERS de 5 et plus. Cependant, les scores de risque environnemental les plus élevés sont obtenus par le fongicide triadimenole et l'herbicide linuron avec 6,13 et 5,88, respectivement. Tandis que, l'insecticide thiaclopride a présenté la valeur la plus faible égale à 1,28, en plus la s.a. chlorantraniliprole a présenté un GUS supérieur à 4.

Tableau 33 : Score de risque environnemental pour les pesticides (ERS) calculé à l'aide du modèle PERI pour dix-huit IA couramment utilisés dans les communes d'étude, GUS, Kh, Kow, algues (A), abeille (B), daphnie (D) et ver (W) valeurs utilisées dans les calculs.

Substances Actives	ERS	GUS score	Kh score	Kow score	B score	W score	D score	A score
Thiaclopride	1,28	1	1	1	5	2	2	2
Mancozébe	1,4	1	1	1	5	1	5	5
Acetamipride	2,33	2	1	1	5	4	2	2
Hexythiazoxe	2,38	2	1	1	4	2	5	4
Trifloxystrobine	2,63	1	1	5	2	1	5	5
Fluazifop-p-butyl	2,75	1	1	5	4	2	4	4
Fenbutatin oxide	3	1	1	5	4	2	5	5
Cypermethrine	3,13	1	1	5	5	2	5	5
Abamectine	4	2	1	5	5	3	5	3
Indoxacarbe	4	2	1	5	5	2	4	5
Hymexazole	4,25	4	1	1	4	2	2	2
Métribuzine	4,35	4	1	1	5	2	2	5
Diazinon	5	3	1	5	5	3	5	3
Imidaclopride	5,3	5	1	1	5	3	2	2
Chlorantraniliprole	5,33	5	1	1	4	1	5	3
Hexaconazole	5,5	4	1	5	4	2	3	3
Linuron	5,88	4	1	5	4	2	4	5
Triadimenole	6,13	5	1	5	2	2	2	3

Les pesticides sont répertoriés par ordre croissant d'ERS.

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

III.C.2.3.1. L'indicateur final du risque environnemental

Certaines substances actives sont trouvées composantes de nombreuses formulations commerciales, mais à des doses d'application standard différentes, comme sont présentés dans l'index phytosanitaire en 2015, et le tableau 34.

Ensuite, l'indicateur final du risque environnemental (ER) a été déterminé pour chaque s.a, et il en résulte que, les valeurs de l'indicateur final de la ER obtenus pour Ain Naga sont comprises entre 0,04 et 120, tandis pour le cas de Doucen, sont comprises entre 0,08 et 105,20 (Tableau 34).

On note que, les valeurs les plus élevées ne peuvent pas être que le résultat du non-respect des doses recommandées sur les étiquettes, et/ou de la toxicité et des propriétés physico-chimiques des substances actives.

Tant, l'analyse statistique a révélé l'existence de trois valeurs extrêmes de l'indicateur final d'ER pour le cas de la commune Doucen, contre une seule valeur extrême pour la commune d'Ain Naga. Le test de la somme des rangs de Wilcoxon (test U de Mann Whitney) est calculé pour des échantillons indépendants inférieurs à 20. Le rang de Wilcoxon présente une valeur de 155,5, l'intervalle de confiance se situe entre -10,722 et 9,4399, et la différence de médiane est de -0,505 d'Ain Naga à Doucen. De plus, la valeur $p = 0,8494$ (supérieure à 0,05), donc il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les maraîchers des deux communes.

Tableau 34: Les substances actives les plus utilisés à Ain Naga et Doucen, les produits chimiques, et l'indicateur final correspondant de risque environnemental (indicateur final d'ER).

Substances Actives	Formulations commerciales	Indicateur Final d'ER	
		Ain Naga	Doucen
Abamectine (AB)	Vertimec, Medamec, Romectin, Tina, Vapcomic	4	4
	Biok 1.8 Ec, Limactine, Transact 18Ec, Metry	2,64	2,64
	Bactimec	5,71	5,71
Acétamipride (AC)	Aceplan 20 SP, Mopistop, Morspilan 20 SP, Rustilan	11,18	9,32
	Cetam 20% SL	5,59	4,66
	Picador 20 % SL	2,8	2,33
	Ghazal 20 SP	4,66	3,87

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

	Acetin 20 SL	2,8	2,33
Chlorantraniliprole (CL)	Coragen 20	3,57	7,09
Cypermethrine (CY)	Arrivo 25% Ec, Cypermethrine 25 Ec, Cypra-Plus, Sherpa 2GC	15,65	23,48
	Cym 25	2,1	3,13
Diazinon (DI)	Diazinon	120	40
Fenbutatin oxide (FE)	Mitrus Dumper	0,33	0,33
Fluazifop-p-butyl (FL)	Fusitop, Fluazifop	1,38	2,75
Hexaconazole (HE)	Agrevil	27,5	20,63
	Hexar 50 Ec, Hexavil 5 Sc	11	8,25
Hexythiazoxe (HX)	Acarol 10 Wp	23,8	19,04
Hymexazole (HY)	Tachigazole, Tachigaren 30 SL	12,75	4,25
	Himexate 30 SL	3,19	1,06
Imidaclopride (IM)	Confidor Supra, Fidor Super 70	21,2	17,65
	Commando	5,3	2,65
Indoxacarbe (IN)	Zinad 15 SC	40	80
	Arizonate	0,04	0,08
Linuron (LI)	Etalon	0,98	1,94
Mancozèbe (MA)	Dithane M 45, Manco 80 Riva, Mancophyt	1,75	1,75
	Manco 80 Wp	1,4	1,4
Métribuzine (ME)	Turbo , Ribuzine	3,73	6,21
	Metribuzell 70 WP	2,87	4,83
Thiaclopride (TH)	Calypso	2,12	2,12
Triadimenole (TR)	Trifidan 25	30,65	61,3
	Vidan 25	6,13	10,18
Trifloxystrobine (TF)	Flint 50 XG	26,3	105,2

Pour le calcul des valeurs de risque normalisées, l'indicateur final de risque environnemental le plus élevé pour les dix-huit s.a. a été pris en compte (Figure 61).

À la suite, la comparaison entre les valeurs normalisées obtenues a fait sortir deux valeurs les plus élevées. On trouve le diazinon à Ain Naga et à Doucen la trifloxystrobine. Cependant, le Fenbutatin oxide a présenté la valeur la plus petite du risque normalisé pour les deux communes.

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

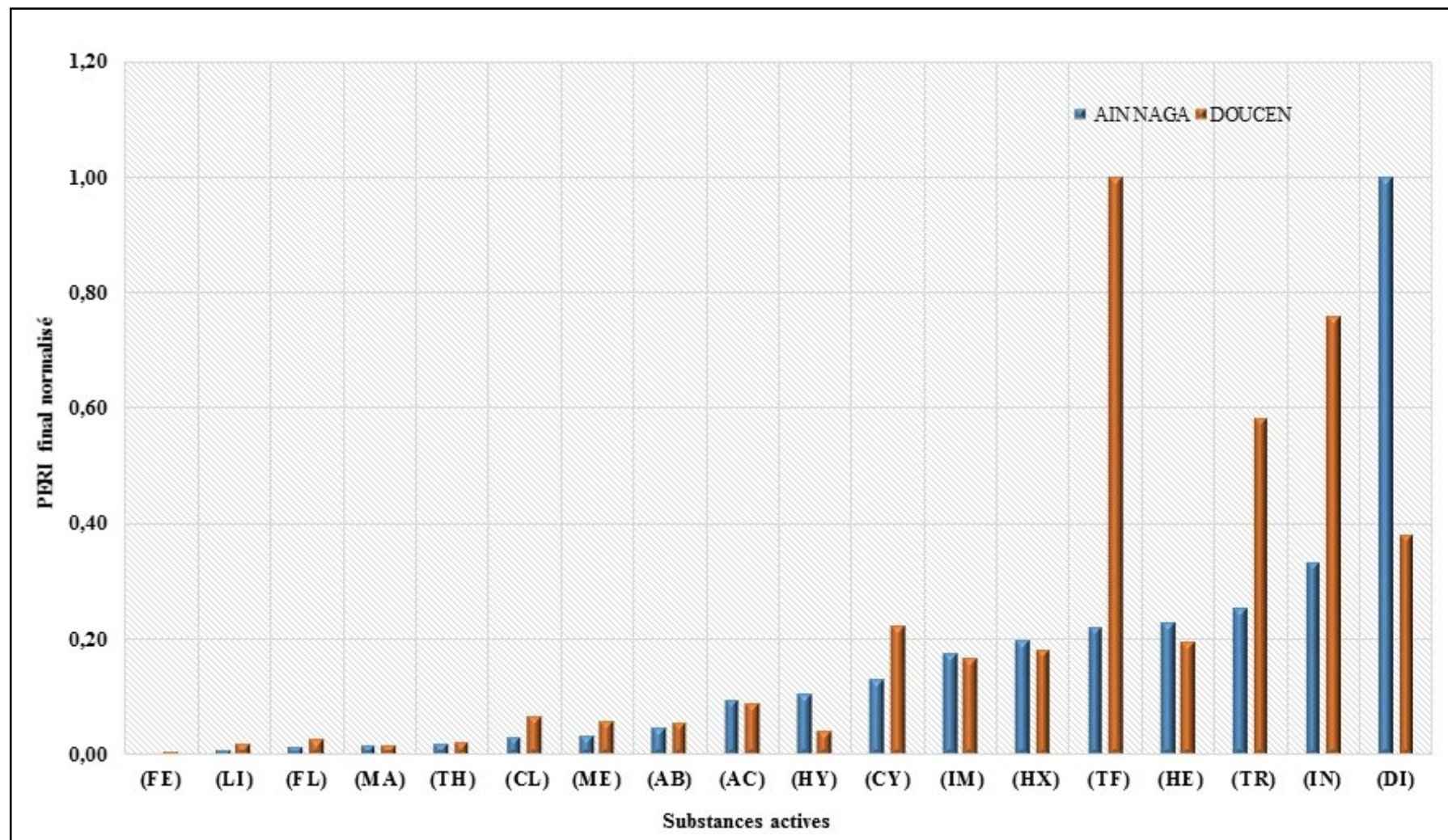


Figure 61 : Présentation des scores de risque normalisés de l'indicateur final de risque environnemental pour dix-huit substances actives.

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

III.C.3. Discussion

Sans doute, la production agricole et le maraîchage conduit sous serre en particulier, de façon intensive implique une application incessante de différente gamme de pesticides, conformément à Bueno et *al.* (2017) et de Muhammetoglu et al (2010). D'après Toumi et *al.* (2016), cela peut être dû à l'intensité des infestations de ravageurs et des maladies, au manque d'alternatives aux pesticides, au non-respect des limites maximales de résidus et au besoin de produits à haute valeur commerciale à la récolte.

Comme nous avons déduit dans les deux premières parties de cette étude, différentes formulations commerciales sont appliquées au niveau des deux communes. Cependant, la majorité les agriculteurs enquêtes ont présenté un faible niveau d'éducation, une dépendance à leurs fournisseurs et détaillants de pesticides, surtout en ce qui concerne la dose à appliquer. Bien qu'une minorité dépend de leur propre expérience et connaissance ou parfois aussi font le recours à leurs confrères agriculteurs.

Une application répétée de ces produits puisse entraîner une contamination importante de l'environnement et des écosystèmes terrestres. La biodiversité est particulièrement menacée par l'utilisation intensive des pesticides (Mahmood et *al.* 2016). Étant donné que la plupart des pesticides sont non spécifiques (Collier et *al.*, 2016 ; Bueno et *al.*, 2017), les insecticides ou les herbicides peuvent être toxiques pour plusieurs espèces. Tels que, les hôtes d'autres organismes, les oiseaux, la vie aquatique, les insectes utiles et les plantes non ciblées qui sont inoffensifs et utiles à l'écosystème (Kohler and Triebkorn, 2013 ; Forbes et *al.*, 2015 ; Schäfer et *al.*, 2019).

Encore, l'emploi continu de pesticides favorise le développement de la résistance des parasites à l'égard de ces substances, conformément à Stoytcheva (2011) et Ochoa and Maestroni (2018).

Nul doute, les pesticides présentent des avantages pour les cultures, mais engendrent aussi des effets négatifs sur la santé humaine et sur l'environnement, en particulier lorsqu'elles se déplacent en dehors du site d'application (Schmolke et *al.*, 2010 ; Toumi et *al.*, 2016 ; Mfarrej and Rara, 2019) et suivent de nombreuses voies (Akay Demir et *al.*, 2019).

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

Les pesticides peuvent contaminer le sol, l'eau, le gazon et d'autres types de végétation (Kohler and Triebkorn, 2013 ; Altman, 2017 ; Ugya et *al.*, 2019). Seule 0,1% du produit appliqué qui va atteindre la cible, et le reste a tendance à être absorbés par les particules du sol (NRC, 1993) et contaminé le milieu environnant (Carriger et *al.*, 2006 ; Levitan, 1997).

Alors qu'environ 50 % des pesticides sont fongicides et certains herbicides (Pérez-Lucas et *al.*, 2019). Il est à noter qu'une utilisation intensive d'herbicides nuit aux plantes à fleurs (Hyvönen and Salonen, 2002), les insecticides menacent sérieusement les abeilles (Sanchez-Bayo and Goka, 2016), même aux colonies d'abeilles et à leur productivité (Goulson et *al.*, 2015). Voir une combinaison de pesticides (insecticides et fongicides) peut être plus nocive et mortelle pour les abeilles (Johnson et *al.*, 2013).

Bien évidemment, les pesticides hautement solubles sont plus susceptibles d'être lessivés du sol par le ruissellement ou d'être déplacés sous la zone des racines par lixiviation. Da Silva (2003), Mackay et *al.* (2006), Cabrera et *al.* (2008) et Minguela and Cunha (2010), indiquent que le Kow décrit le transfert d'une substance d'un environnement aquatique dans un organisme et le potentiel de bioaccumulation de cette substance. Alors que, Kh (constante de la loi d'Henry) décrit la concentration de pesticide dans l'air (pression de vapeur) divisée par la concentration dans l'eau (solubilité), plus il est élevé plus il se volatilise à partir d'un sol humide (Kerle et *al.*, 1994). Ce qui susceptible de causer l'intoxication par l'inhalation, surtout à des valeurs élevées (Pereira et *al.*, 2016).

Au sujet des dix-huit s.a., on trouve que le Kh n'est pas élevé pour tous ces s.a et le score Kh est égal à 1. Par la suite, il semblait opportun de vérifier les molécules de pesticides recensées dans la présente étude, davantage celles qui présentent tendance à polluer les eaux et d'identifier les zones vulnérables.

Parmi les dix-huits (s.a.) recensés à Ain Naga et Doucen, six sont persistants : chlorantraniliprole, fenbutatine d'oxide, hexaconazole, indoxacarbe, imidaclopride et triadimenole. Tandis que, les (s.a.) d'abamectine, cyperméthrine, hexythiazox, hymexazole et linuron) sont modérément persistants ou non persistants.

Cependant, la cyperméthrine à effet insecticide est caractérisée par un Koc le plus élevé et cela indique une plus grande sorption de ce pesticide dans le sol, c'est-à-dire une moindre

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

disponibilité pour la plante et/ou dégrader par les microorganismes du sol, conformément à Pereira *et al.* (2016) et Kerle *et al.* (1994).

Étant donné que, l'indice de GUS peut aider à identifier les zones vulnérables, en classant les pesticides en fonction de leur potentiel à se déplacer vers les eaux souterraines, conformément à Pretty (2005) et Arias-Estévez (2008). Il se trouve que, huit (s.a.) qui ont un potentiel extrêmement faible de migration vers les eaux souterraines (GUS inférieur à 1,8). Il s'agit des substances de cyperméthrine, fenbutatine oxyde, trifloxystrobine, hexythiazox, fluazifop-P-butyle, mancozèbe, indoxocarbe et thiaclopride.

Alors que, le calcul a fait sortir aussi cinq (s.a.) qui présentaient un potentiel très élevé pour quitter vers les eaux souterraines, puis les contaminer ; il s'agit des (s.a.) chlorantraniliprole, l'imidaclopride, l'hexaconazole, le métribuzine et le triadimenole.

En outre, la cyperméthrine, le mancozèbe et l'abamectine qui peuvent fortement contaminer les eaux souterraines, conformément à Ochoa et Maestroni (2018).

En revanche, l'insecticide chlorantraniliprole (DT50 égale à 597 jours) demeure le plus persistant, et modérément mobile dans le sol avec un coefficient d'adsorption (K_{oc}) égale à 362. Suivant Le Bars *et al.* (2020), cette (s.a.) est déjà interdite en Europe, mais toujours en usage en Algérie.

Encore, l'hexaconazole avec un GUS égale à 3,07 indique qu'il est lessivable. Les travaux de Sharma *et al.* (2013) et Maznah *et al.* (2018), montrent que la mobilité de l'hexaconazole augmente dans tous les sols à travers la couche superficielle du sol (0-10 cm), ainsi qu'avec un volume d'eau élevé.

Concernant l'imidaclopride, un composé hautement toxique pour les oiseaux et les abeilles, modérément toxique pour les mammifères et les vers de terre (Extoxnet, 2006), même très toxique pour la vie aquatique avec des effets à long terme d'après la classification CLP.

Ce composé est non volatil, persistant dans le sol, hautement soluble dans l'eau avec un fort potentiel de quitter vers les eaux souterraines (Extoxnet, 2006). Il s'est détecté aux différents endroits, par exemple au sud du Brésil, au niveau des aquifères basaltiques rocheux sous des sols argileux (soit 6,22 $\mu\text{g/L}$), au Nord du Québec du Canada, des aquifères sous des sols sableux perméables (soit 6,4 $\mu\text{g/L}$) (Browne *et al.*, 2020). Suivant Giroux, 35% des puits

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

prélevés contenaient des résidus d'imidaclopride, et 33 % contenaient des résidus de l'herbicide métribuzine, ce qui a provoqué la contamination des eaux souterraines par ces résidus dans la plupart des endroits où la pomme de terre est cultivée, en particulier dans les régions de Portnov et de Lanodièrre (Giroux et *al.*, 2003).

Pour le cas du métribuzine, Oukali-Haouchine (2013) a étudié le transfert de cet herbicide sur un sol argilo-limoneux de la Mitidja (Nord Algérie) sous des conditions contrôles et a conclu qu'il présente une forte adsorption sur ce type de sol. Il en résulte aussi que 30 à 40% des quantités initialement adsorbées du métribuzine sont libérées après désorption, ce qui exprime qu'un risque important de la contamination de l'eau souterraine, encore l'essai d'adsorption avec le produit pur donne des résultats plus importants.

D'après Cerejeira et *al.* (2000), 15,4% du total des échantillons d'eau d'irrigation prélevés des régions de "Baixo Sorraia", "Lezíria do Tejo", "Núcleo de Santarém", "Península de Setúbal "et" Núcleo do Montijo", contenues le métribuzine, avec une concentration maximale de 1,45 ug/L, détectée à Baixo Zone de Sorraia.

Alors que, le triadiménole est un composé persistant dans le sol, avec une solubilité modérée dans l'eau et une capacité de lixiviation élevée (PPDB, 2018), mais modérément dangereux pour les oiseaux, les mammifères, les poissons, les invertébrés aquatiques et les vers de terre (Exttoxnet, 2006 ; PPDB, 2018).

Donc, Certains sites visités à Ain Naga et à Doucen risquent d'être contaminées par les cinq types de substances actives identifiés. Les inquiétudes sont justifiables en raison de plusieurs facteurs. En particulier, lorsque les caractéristiques physico-chimiques des sols de la région de Biskra (type, texture et structure du sol, la pente, pH, la teneur en matière organique, la profondeur de la nappe, etc.) et les conditions climatiques spéciales peuvent abondamment influencer les processus de transport de ces produits. Conformément à Juan et Voltz (2018), le risque de contamination augmente en fonction des propriétés physico-chimiques de ces composés accompagnés à une application intensive.

Correspondant à Oukali-Haouchine (2013), l'adsorption du métribuzine augmente avec le taux de matière organique, le contenu en argile et l'addition d'engrais (NPKs).

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

Plus particulièrement, le positionnement des sites visités au niveau des communes d'études par rapport aux réseaux hydrographiques, les oueds (en particulier Oued B'raz à Ain Naga et Tamda à Doucen) et les petits affleurements d'oueds est idéale pour l'occurrence d'une contamination des eaux par PPs. En plus, l'accroissement annuel du nombre de fermes, les quantités de pesticides appliquées sur les cultures et le nombre de forages exploités (selon la direction des ressources en eau (DRE) en 2015, soit un nombre de 1 267 à Ain Naga, contre 1 854 à Doucen) sont à la fois stupéfiantes. L'installation des puits et des forages en forte densité, en plus le pompage fréquent de l'eau souterraine pour l'irrigation des cultures, par exemple les eaux des lâchers du barrage de Foug El Gherza, les eaux des fuites du barrage (Hamamouche et *al.*, 2015). D'autant, pour l'alimentation (homme et animaux d'élevage), ce qui présente une grande menace consubstantielle sur l'environnement et l'homme. D'après Giroux et *al.* (2010), en cas d'une contamination via l'infiltration d'eau de surface vers les profondeurs par les résidus de pesticides, même les aquifères les plus profonds ne sont pas à l'abri et l'impact sera significatif pour la santé publique, si utilisé comme source de nourriture.

D'autant, l'intensité des PPs employés est en fonction de type des cultures pratiquées, par exemple, les maraîchères sont beaucoup sensibles aux maladies et bioagresseurs, ce qui la mise en tête des cultures consommatrices de pesticides. Donc, l'application répétée de ces (s.a.) peut tourner à critique, c'est-à-dire allant jusqu'à plus de trois composés dans la même zone, ce qui accélère forcément l'infiltration rapide de ces composés et leur accumulation dans le sol et l'eau. Pour ce cas d'usage, les sites les plus concernés sont celles d'Ain Naga (Feidh Sala, Horrara, Tabet Chanouf et Lamnisaf) et de Doucen deux sites (Tamda et Elmarhoum). Ces sites pratiquent le maraîchage et les sols sont limoneux- sableux, ainsi sont particulièrement vulnérable à la contamination et le risque s'aggrave avec la présence simultanée de plusieurs molécules de pesticides. Sans oublier que, l'utilisation de pesticides peut avoir au moins un effet local négatif sur les ressources en eau souterraine (Giroux et *al.*, 2010).

À cet effet, l'hexaconazole, l'imidaclopride, le triadimenole et le chlorantraniliprole sont les composés les plus suspectés de causer l'altération de la qualité de l'eau souterraine dans certaines sites d'Ain Naga et de Doucen. Parce que, ces composés sont mobiles, à tendance pour se diffuser dans le sol, les eaux souterraines et vers le bas dans les aquifères, sous l'effet

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

des pratiques d'irrigation ou de pluies. Il se rajoute, l'action anthropique, c'est-à-dire une mauvaise gestion des fonds de récipient, le nettoyage des équipements de pulvérisation, l'élimination des emballages vides de produits, le déversement des restes de pulvérisations (Bettiche, 2017) et des bouillies sur les champs, en dehors de la serre et à proximité des sources d'eau (forages, puits, oueds). Donc, il est nécessaire que l'application des pesticides ne soit pas au voisinage des puits afin de préserver les aquifères et la durabilité des ressources en eau souterraine (Giroux et *al.*, 2010).

Par ailleurs, toujours dans le même contexte d'évaluation des risques potentiels de pesticides sur l'environnement, l'application de l'indicateur de risque environnemental modèle PERI a permis d'évaluer le danger potentiel de certaines formulations commerciales.

On discerne que, la plupart de ces (s.a.) recensées avaient une toxicité modérée pour les vers de terre. Les huit (s.a.) qui pourraient potentiellement causer un problème à l'espèce de daphnie avaient un score plus élevé compte l'abamectine, le chlorantraniliprole, le cyperméthrine, le diazinon, le fenbutatin oxide, le hexythiazox, le trifloxystrobine et le mancozèbe. Alors que, sept (s.a.) sont toxiques pour les algues avaient un score de 5, on compte cyperméthrine, indoxacarbe, fenbutatine oxide, trifloxystrobine, linuron, mancozèbe, métribuzine.

D'un côté, l'analyse des résultats obtenus fait sortir que le score du risque environnemental (ERS) le plus élevé est marqué par le triadimenole (6,13), par contre le plus faible score enregistré par le thiaclopride (1,28). Alors que, l'indicateur final du risque environnemental (ER) a révélé que le diazinon (à Ain Naga) et la trifloxystrobine (à Doucen) présentent les valeurs les plus élevées, même un risque sincère surtout en cas d'une utilisation répétée et/ou surdosage.

Pour le diazinon, une grande variété de mammifères ont démontré très sensible en vers cette substance. En plus des répercussions écologiques, une toxicité aiguë, des dommages au niveau de la reproduction, une cytotoxicité et une génotoxicité, et différentes lésions de tissus et organes cibles spécifiques, un destin biologique complexe largement médiatisé par divers mécanismes métaboliques (Larkin et Tjeerdema, 2000 ; Pham et Bui, 2018).

En outre, Velki et *al.* (2017) et Pham et Bui (2018), expriment que le diazinon est modérément toxique pour les premiers stades de vie des poissons zèbres. Alors que, Hodaifa

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

et *al.* (2019) ont déclaré que les espèces de *Daphnia lumholtzi* néonates étaient plus sensibles à ce composé que la *Daphnia magna* tempérée. En conséquence, de la possible toxicité de cette substance pour l'environnement, l'Agence de protection de l'environnement (EPA) a suggéré en 2002 son élimination (Debski et *al.*, 2007 ; Garber et Steege, 2008). Cependant, le diazinon est non retiré des marchés nationaux toujours disponibles, utilisé régulièrement en Algérie, dans les exploitations agricoles.

Alors que, la trifloxystrobine est à large spectre à base de strobilurine couramment utilisé dans le monde entier. Selon la littérature et les études réalisées sur la toxicité de cette substance et ses métabolites pertinents ont montré qu'il présentait un moindre risque pour les eucaryotes non ciblés, les plantes terrestres, les arthropodes, les vers de terre et les autres macros et microorganismes du sol (EFSA, 2017).

De la sorte, l'application fréquente et à long terme de la trifloxystrobine peut entraîner un risque élevé (aigu et chronique) pour les oiseaux (Paranjape et *al.*, 2014) et les organismes aquatiques (poissons, invertébrés, algues) (Cao et *al.*, 2015), mais un faible risque aigu pour les abeilles et les mammifères, par toutes voies d'exposition confondues (EFSA, 2017).

Non seulement, la trifloxystrobine peut affecter la santé reproductive, la durée de vie et le développement embryonnaire et larvaire (Zhu et *al.*, 2013 ; Li et *al.*, 2018), son utilisation présente un risque potentiel pour l'homme via un contact cutané à long terme ce qui provoque une réaction allergique et une sensibilisation cutanée (Zhu et *al.*, 2013 ; Paranjape et *al.*, 2014 ; Jang et *al.*, 2016).

Ici, il est paru important d'avertir que les aquifères courent le risque de contamination par les résidus de pesticides. Contrairement, aux autres pays développés et en développement, la détection des molécules de pesticides dans les eaux de surface, souterraines et en zones agricoles en Algérie n'a pas pris beaucoup d'attention. Bien que, les produits phytosanitaires sont largement utilisés en agriculture, il existe très peu de travaux et des rapports au niveau national et surtout autour de la région de Biskra qui ont portées sur la présence de molécules de pesticides dans les sols, l'eau et ainsi leurs contaminations.

Cependant, ceux qui ont pu venir sur ce sujet ont démontré que la concentration de certains résidus de pesticides surpassait la limite maximale de l'OMS, conformément à Lebik et Aitamar (2013). Par exemple, la concentration de chlore organique (lindane, H-chlore, 2,4 et

Etude Expérimentale

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

4,4 DDT, 2,4 et 4, 4 DDE) et d'organophosphates (diazinon, parathion) ont dépassé la limite maximale dans plus de 30% des échantillons d'eau potable prélevés dans le Staoueli, Alger (Bouzani, 2007) et 50% dans les eaux souterraines (Moussaoui *et al.*, 2005).

Khaled-Khodja *et al.* (2019), ont démontrés la teneur de carbendazime trouvés à Bouhamra (l'une des principales sources d'entrée des eaux usées sur le golfe d'Annaba) et à oued Sebous (le plus grand oued d'Algérie) surpassait largement la limite, en plus le 2,4-D dans Bouhamra et dinoterb et 2,4-D dans Sebous dépassaient significativement la limite, donc Bouhamra est relativement plus polluées qu'oued Sebous (Khaled-Khodja *et al.*, 2019).

Alors que, Bettiche *et al.* (2017), ont trouvés que les eaux souterraines dans les zones étudiées au Ziban Est n'étaient pas contaminées, même les valeurs des polluants détectés sont inférieures aux normes internationales ; l'analyse multirésidus leur a permet de détecter le carbendazime (0.058 μ g/l), et le propamocarb HCl (0.047 μ g/l) et d'un HAP : le naphthalène (0.089 μ g/l), comme a indiquée Bettiche (2017). Toutefois, ce résultat obtenu par Bettiche (2017) ne peut pas être considéré définitif et/ou décisif ; puisque la taille d'échantillons, l'intervalle d'échantillonnage et la profondeur étaient faibles, c'est-à-dire six forages, un puits traditionnel, et un échantillon d'eau superficielle retrouvée dans six communes à des profondeurs de 11, 60, 100, 110, 150, et 250 m. Malgré cela, Bettiche *et al.* (2017) étaient les premières à signaler la possibilité de la contamination des eaux souterraines et les eaux superficielles par les pesticides en milieu serricole dans la région de Biskra.

III.C. Evaluation du risque potentiel des produits phytosanitaires sur l'environnement

III.C.4. Conclusion

Finally, the present study has announced that the surface and groundwater of thirteen sites belonging to Ain Naga, against ten sites in Doucen, risk being contaminated by chlorantraniliprole, imidacloprid, hexaconazole, metribuzin and triadimenol.

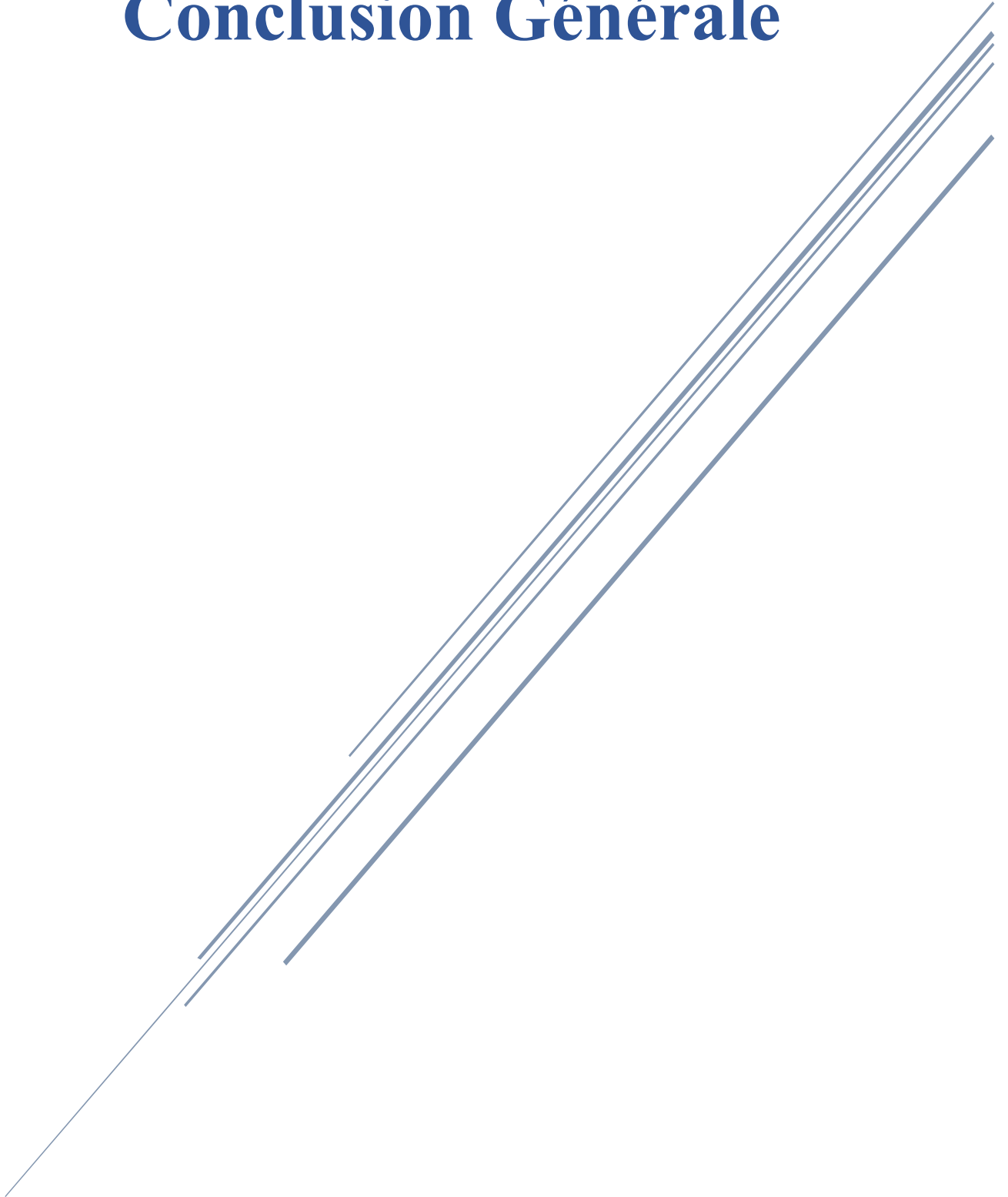
Risk indicators related to pesticides can help to quickly evaluate the potential dangers of pesticide use for the environment, and in this context, the choice of these indicators has been made.

These tools are applicable at low cost to demonstrate their usefulness, notably in the case of insufficient data. Authorities and public powers can benefit from this to review the Algerian legislation and regulation on the sale, distribution and use of PPPs; this will facilitate the choice of PPPs that present the least danger for the environment and human health.

While the sensitization of Algerian farmers remains the best way recommended, especially to ensure a safer use of PPPs.

Such as, the adoption of hygiene practices, the mastery of application techniques and the respect of the recommended dose. In addition, actions aimed at reducing the use of these products, such as: the control of agricultural operations, the regular monitoring of residue levels of PPPs in wells, oases, receiving basins, etc., and on the final agricultural product sold on the markets.

Conclusion Générale



Par la présente thèse, nous avons choisi à de faire une étude de l'impact des produits phytopharmaceutiques sur l'environnement et l'évaluation des risques ; à travers des investigations menées au niveau de deux communes d'Ain Naga et de Doucen de la région de Biskra, nous avons essayé de répondre aux questions posées dès le début de ce travail. Après, l'analyse des résultats obtenus ont donné des informations intéressantes sur ce sujet.

La région de Biskra présente un système de production maraîcher locale en plein développement, grâce aux efforts et aux soutiens continue de l'État. Quoique, ce système de culture généralement conduit en intensif fait appel à la lutte chimique par divers produits phytosanitaires de façon cruciale. L'adoption de cette stratégie vise à accroître les productions et les préserver (qualitativement et quantitativement) au maximum contre les nuisibles biotiques et abiotiques.

Le présent travail expose que les enquêtes menues dans le cadre de cette étude ont fait sortir que les dégâts occasionnés sur les cultures maraîchères sont en première degré causé par les insectes (la mineuse, la mouche blanche, l'aphides, les noctuelles, et le thrips). Puis en second degré par les maladies d'ordre fongique et bactérien (l'antracnose du poivron et de la tomate, l'oïdium, le mildiou du poivre, la pourriture molle bactérienne du poivre et la flétrissure bactérienne). Cependant, malgré les préjudices possibles sur l'homme et l'environnement, les agriculteurs choisissent la lutte chimique comme solution rapide et efficace.

Au total 143 formulations commerciales, et 70 substances actives recensées au niveau d'Ain Naga et de Doucen. Tandis qu'on trouve qu'une tendance à appliquer plus d'insecticides, puis de fongicides et faiblement les herbicides. C'est alors que, l'emploi des indicateurs classiques de pression peut aider dans l'évaluation des pratiques phytosanitaires suivies par les maraîchers au niveau des sites enquêtes. Ces maraîchers utilisaient communément dix-huit substances actives sur leurs sept espèces maraîchères, aubergine, concombre, haricot vert, melon, piment, poivron et tomate.

Cependant, on distingue que les maraîchers à l'échelle de Doucen, certains types d'insecticides y compris les acaricides sont appliqués à des doses supérieures à la dose homologuée et beaucoup plus que ces homologues à Ain Naga. En outre, le nombre de passages exercé est supérieur, ce qui agrandisse les soucis.

C'est alors que la répercussion de ces comportements s'aperçoit nettement dans les résultats obtenus via le calcul des indices d'IFT et d'IPP. Là, il paraissait opportun de mentionner que nous avons opté à ce type de calcul pour avoir une idée proche sur l'intensité d'usage de pesticides (IFT) et sur la pression de pollution (IPP) exercée sur les cultures maraîchères, notamment celles pratiquées sous serre plastique. Autrement dit, une surface délimitée et un environnement clos, où on pense que l'emploi et l'impact de ces produits est inquiétant.

Bien que la superficie totale traitée des sept cultures recensées soit trois fois supérieure à Ain Naga qu'à Doucen, on trouve que l'intensité d'utilisation de PPPs et la grandeur de pression sur les cultures pratiquées sont plus élevées à Doucen.

Certaines cultures ont occupé de grandes superficies et sollicitent plus de PPPs comparé aux autres cultures pratiquées. Par exemple à Doucen, on trouve le piment (IFT Total=153,61), l'aubergine (IFT Total=145,09) et la tomate (IFT Total=113,68) ; à Ain Naga, le piment (IFT Total=149,04) et la tomate (IFT Total=138,95) sont distingués. Concernant, les IFT insecticides et fongicides sont dominants, ce qui exerce une grandeur de pression phytosanitaire (IPP culture) importante.

Toute agriculture conduite en intensive peut engendrer une pression phytosanitaire polluante très forte à modérée sur l'environnement à l'échelle des sites visitées. C'est le cas de trois espèces maraîchères la tomate, le piment et l'aubergine principalement pratiquées à Ain Naga (Mansoria et Nebka) et à Doucen (Berouth et Tamda), et qui produisent une forte pression polluante. Contrario, la grandeur de pression engendrée sur site par rapport à la commune (IPP Site/Commune) est faible pour la plupart des sites visitées dans cette étude.

Subséquentement, l'emploi intensif de PPPs sur une seule culture, ou sur plusieurs cultures pratiquées dans le même endroit est la cause principale que ces grandeurs de pressions phytosanitaires résultantes, c'est-à-dire une agrégation de pressions polluantes de plus d'une culture pratiquée. De manière générale, on discerne que la faiblesse des données obtenues auprès les agriculteurs enquêtés n'a pas empêché d'obtenir des résultats proches des valeurs d'IFT réels. Outre la pression polluante élevée, est enregistré à l'échelle des deux communes, mais considérée menaçante pour la commune de Doucen, ce qui expose à la fois, la santé du consommateur et l'environnement.

Concernant les maraîchers enquêtés, ceux d'Ain Naga ont présenté un niveau d'instruction plus élevé que leurs homologues de Doucen. En plus, l'expérience varie de 0 à 19 ans, mais la plupart d'entre eux manquent de formation professionnelle.

Plus de la moitié des maraîchers participants dans cette étude détient une faible connaissance sur les pesticides, leurs risques associés et dévoilent de difficultés dans l'usage sécurisé.

Généralement, l'usage de ces produits s'effectue dans des conditions alarmantes ; il s'aperçoit clairement qu'ils ne trouvent pas de contrainte à utiliser divers PPPs, peu importe les risques possibles, l'essentiel, c'est de garantir la production agricole avec un minimum de pertes.

Autrement dit, les pratiques phytosanitaires suivies sont insuffisantes et hasardeuses au niveau des deux communes enquêtes. Par exemple, la plupart ne lisent pas l'étiquette sur l'emballage du produit, mais déclarent le respect de la dose d'application recommandée. Plus de 47 % les agriculteurs à Ain Naga ne respectaient pas le délai d'attente avant récolte (DAR) et pratiquent le mélange de pesticides (cocktails). Aussi, la plupart ne disposent pas d'un lieu aménagé, sécurisé et conforme aux normes pour le stockage de ces produits sensibles. À propos des opérations d'entretiens des pulvérisateurs souvent assurés avant chaque application, les agriculteurs enquêtés à Doucen sont les moins prudents.

La portée des équipements de protection individuelle n'est pas respectée par la plupart des agriculteurs. L'application des PPPS est généralement exercée par des opérateurs qualifiés (le cas d'Ain Naga) ou par l'agriculteur lui-même (le cas de Doucen).

À la fin de cette opération, 50 % des agriculteurs ont l'habitude de jeter les emballages de pesticides vides, les restes de pulvérisations et la bouillie de pulvérisation dans la nature. En outre, un comportement d'hygiène commun est assuré par la moitié des agriculteurs enquêtés, c'est-à-dire le lavage des mains et du visage.

En plus des risques de ces comportements incorrects sur l'environnement, l'occurrence des problèmes de santé durant ou juste après l'application des pesticides sont beaucoup possibles. C'est alors que 60 % ont exprimé de problèmes de santé durant ou juste après l'application des pesticides, principalement par voie respiratoire, et par contact cutané.

La défaillance des outils de vulgarisation surtout en matière d'orientation, de sensibilisation, et de suivi a encouragé les agriculteurs « les Fellahs » beaucoup à faire un boycott avec l'autorité du secteur agricole, les instituts techniques et universitaires. C'est ainsi qu'ils ont

décidé de faire de confiance et font le recours aux vendeurs de produits phytosanitaires et des agents des firmes de ces produits.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons visé à analyser les dangers environnementaux potentiels des pesticides qui s'exercent au niveau des sites visités, en plus à découvrir les zones à risques.

Donc, le choix d'utilisation des indicateurs applicables et à faible coût pour évaluer les risques d'usage de pesticides sur l'environnement a été beaucoup plus en raison de manque des analyses sophistiquées et de la qualité de données collectées.

Subséquentement, dans cette partie de travail, dix-huit substances actives couramment employés sur les cultures maraîchères dans les deux des communes enquêtées ont été la base de nos calculs. L'application de l'indice de Gustafson a aidé l'identification des molécules de pesticides à tendance pour polluer les eaux superficielles et souterraines, de même les zones vulnérables susceptibles d'être contaminé par ces molécules.

Il s'agit, de chlorantraniliprole, l'imidaclopride, l'hexaconazole, le métribuzine et le triadimenole sont signalés en usage fréquent dans treize sites d'Ain Naga, contre dix sites à Doucen. Toutefois, à cause des quatre molécules, principalement l'hexaconazole, l'imidaclopride, le triadimenole et le chlorantraniliprole, l'altération de la qualité de l'eau souterraine est fortement possible, au niveau de certains sites d'Ain Naga et de Doucen.

Nos inquiétudes sont justifiables, car l'infiltration rapide de ces composés dans le sol et aux profondeurs est plus que possible. Surtout de point de vue la pente, le type de sol limoneux sableux et l'emplacement des sites visités surtout celles qui se trouvent à proximité des réseaux hydrographiques. Il s'ajoute l'usage répété et simultané de plusieurs molécules dans le système maraîcher augmente ce risque. Cette étude a révélé que, les sites les plus vulnérables et à risque sont celles d'Ain Naga (Feidh Sala, Horrara, Tabet Chanouf et Lamnisaf) et de Doucen deux sites (Tamda et Elmarhoum).

Également, l'application du modèle PERI a révélé que le triadimenole (6,13) présente le score le plus élevé de risque environnemental (ERS). Après la comptabilisation de l'indicateur final du risque environnemental (ER) deux substances actives présentent les scores les plus élevés. Il s'agit du diazinon (ER=120) appliqué à Ain Naga, qui renferme des répercussions écologiques négatives qui a incité son retrait de l'usage dans les pays développés depuis 2002. En plus, la trifloxystrobine (ER=105,20) utilisé à Doucen, dont

l'application fréquente et à long terme occasionne un risque élevé (aigu et chronique) pour les oiseaux et pour la vie aquatique (poissons, invertébrés, algues).

De ce qui précède, deux communes leaders dans le domaine de l'agriculture à Biskra, en particulier le maraîchage ont été la scène de cette étude. C'est ainsi que, la diversité des produits agricoles pratiqués, la superficie, la production, la situation phytosanitaire et l'état d'utilisation des PPPs ont été investigués.

Nous pensons que cette étude s'est intéressée à évaluer les risques potentiels sur l'environnement et a opté à employer des indicateurs qui aident à la prise de décisions à propos l'usage de produits phytosanitaires dans les conditions d'un pays en développement.

D'autant plus très peu de travaux ont été publiés sur cette thématique au niveau de la région de Biskra. Malgré cela, ce travail est toujours en cours de développement et mérite d'être suivie par d'autres plus approfondies.

Toutefois, la présente étude a heurté de plusieurs limites, à divers niveaux, ce qui a rendu sa finalisation dans le délai prévu très difficile. Parmi ces limites, celles qui concernent :

- **Les distributeurs et vendeurs**

Ces agents étaient généralement méfiants ou peu coopérants, alors que certains d'autres n'étaient pas disposés pour répondre à nos questions.

- **Les agriculteurs**

Pour cette catégorie, le faible niveau de scolarisation des maraîchers enquêtes nous était une grande contrainte pour le bon déroulement de l'enquête, surtout durant la phase de collection des données.

En raisons que, le maraîcher est préoccupé avec les travaux quotidiens dans l'exploitation, ou bien indisponible et choisi de livrer sa production aux marchés des fruits et légumes, ou rejoint les administrations (suivre leurs demandes et extraire des paperasses, etc.).

Dans certains cas, nous étions obligés à réduire le temps du questionnaire ou même à couper et reporter pour un autre jour.

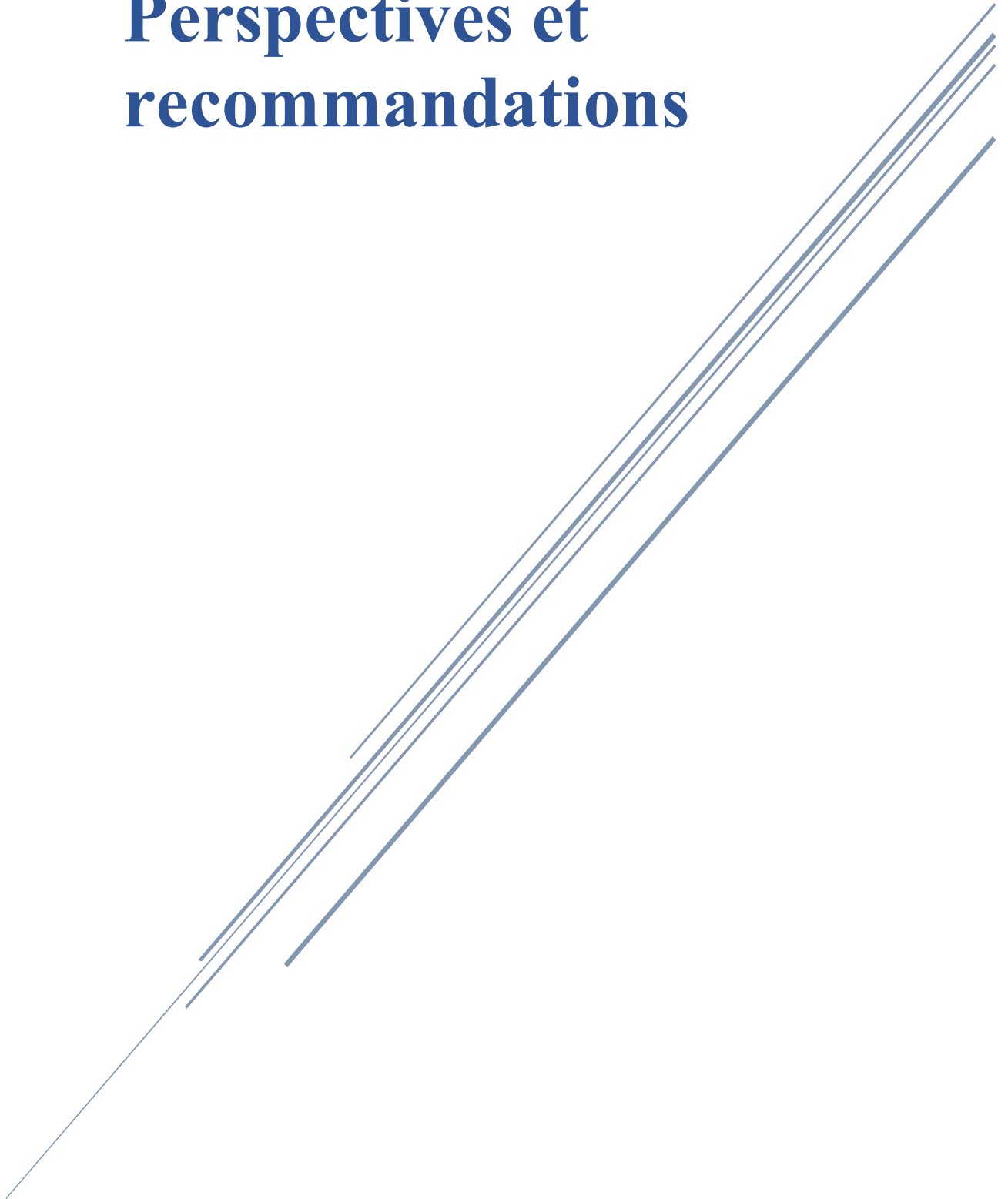
- **Personnel**

Parfois, la disponibilité irrégulière des transports était un problème. Il se rajoute le manque des informations et des données nécessaires au niveau de certaines administrations.

L'absence des bases de données fiables sur plusieurs années continues, à propos des pesticides (importations, exportations, évolution, etc.), à l'échelle locale et nationale. Cependant, il est fort probable qu'au sujet des produits phytosanitaires les informations sont réellement indisponibles à leurs niveaux.

Par ailleurs, pour l'identification de diverses molécules de pesticides dans l'environnement, nous avons enduré de l'absence totale des moyens indispensables pour l'analyse des résidus de pesticides, tels que : L'analyse par chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC), par chromatographie en phase gazeuse ou phase liquide couplée à la spectrométrie de masse, aussi abrégée GC/MS et LC/MS au niveau de l'université. Même si l'équipement existe dans d'autres universités ou centres, il est bien quasi impossible d'en profiter et de travailler avec cet équipement, en tant qu'étudiant externe.

Perspectives et recommandations



La situation dans notre région mérite l'attention des chercheurs scientifiques et des décideurs politiques pour rationaliser l'usage des produits phytosanitaires et limiter les risques d'exposition sur l'homme et l'environnement.

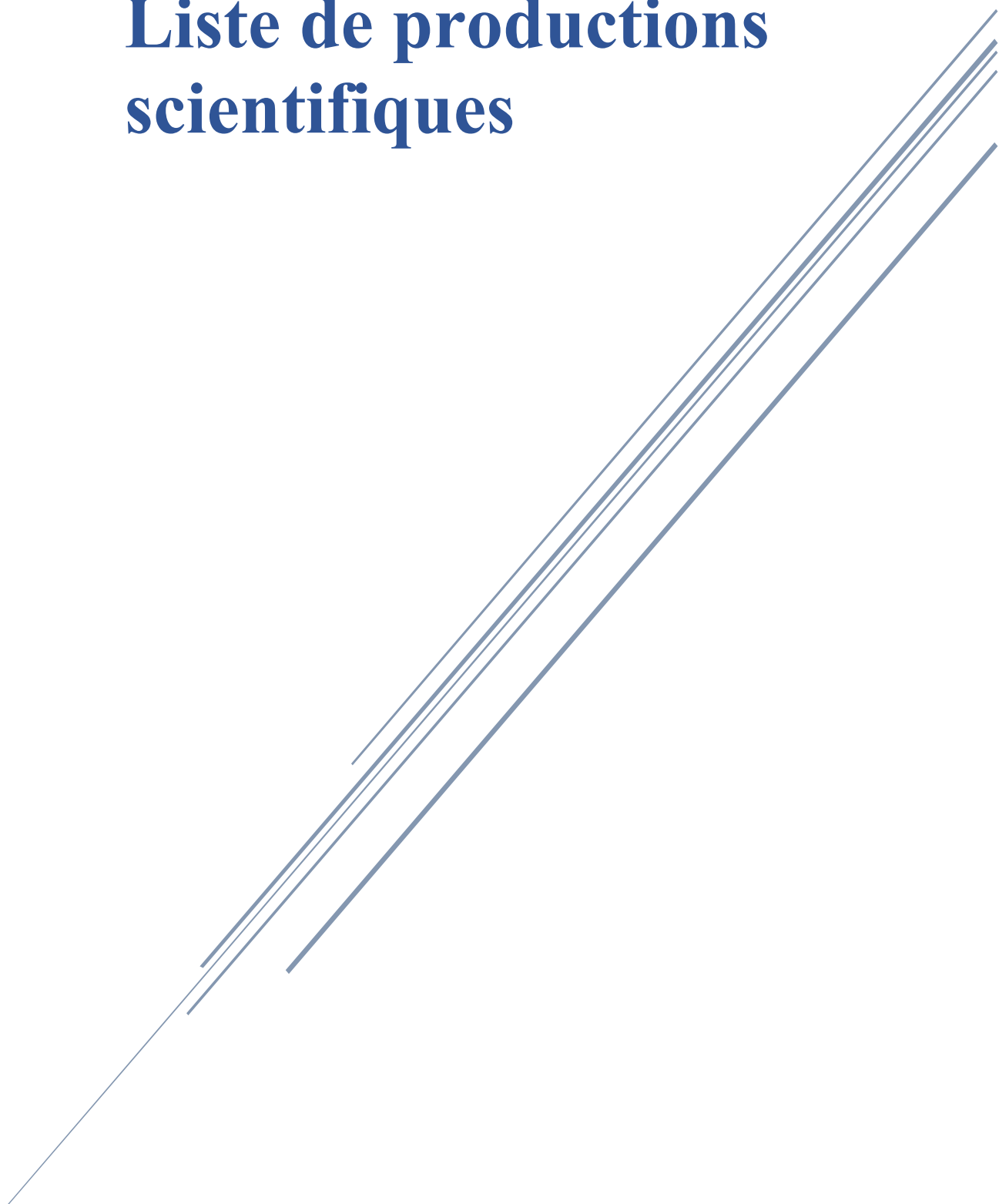
Bien évidemment, le sujet des produits phytosanitaires est vaste, épineux et coûteux ; mais, promouvoir une agriculture durable exige à prendre en considération l'application de certaines actions efficaces contre l'accroissement de l'emploi intensif et non sécurisé des produits phytosanitaires. Parmi lesquelles on dénombre :

- Promouvoir la réalisation de recherches épidémiologiques approfondies visant à mettre en lumière le bien-être des agriculteurs exposés aux pesticides.
- Mener des enquêtes complémentaires tenant sur la mesure des délais réels de réentrée, pratiques, la portée des équipements de sécurité, règles d'hygiène, etc.
- Mener des travaux pluridisciplinaires permettant de concevoir des stratégies et des alternatives efficaces aux pesticides.
- Inciter l'agriculteur à rejoindre les formations agricoles et à adopter les techniques innovantes alternatives à l'usage de pesticides comme l'application des bio-pesticides.
- Encourager et former l'agriculteur à enregistrer leurs pratiques phytosanitaires pour évaluer après l'intensité d'usage des produits (IFT) et la grandeur de pression polluante (IPP).
- Création d'une base de données nationale alimentée par les données locales afin d'avoir un IFT référence national. Ce qui va permettre à alimenter la base de données nationale afin d'avoir un IFT référence.
- Se rapprocher des agriculteurs, regagner leur confiance par la vulgarisation continue et périodique à travers les autorités du secteur agricole compétentes et en collaboration avec les vendeurs de pesticides.
- La formation des agriculteurs sur les bonnes pratiques (BPA), et la création des campagnes de sensibilisation sur l'importance des équipements de protection individuelle (EPI) et des mesures d'hygiène.
- Les vendeurs de pesticides doivent suivre des formations de perfectionnement au moins tous les deux ans, comme ces pairs dans les pays en développement.
- Réviser, actualiser et renforcer de la législation relative à la production, à la distribution et l'usage des produits phytosanitaires en Algérie, et ces derniers doivent

être compatibles avec la situation sanitaire et environnementale existante au niveau dans différentes régions.

- Promouvoir un programme national de surveillance des limites maximales de résidus (LMR), et la traçabilité des produits agricoles récoltés.

Liste de productions scientifiques



Publications

- 1) Soudani, N., Toumi, K., and Boukhalfa, H. H. (2022). Estimation of phytosanitary pressure and the environmental impact related to the use of pesticides. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 100(2), 184-192
- 2) Soudani, N., Belhamra, M., Ugya, A. Y., Patel, N., Carretta, L., Cardinali, A., and Toumi, K. (2020b). Environmental risk assessment of pesticide use in Algerian agriculture. *Journal of Applied Biology & Biotechnology* Vol, 8(05), 36-47.
- 3) Soudani, N., Belhamra, M., and Toumi, K. (2020a). Pesticide use and risk perceptions for human health and the environment: a case study of Algerian farmers. *Ponte International Journal*, 76(5/1).
- 4) Soudani, N. and Belhamra, M. (2018). Toxicity, persistence and degradation of pesticides used in greenhouses farming in Ziban, Biskra (Algeria) in 10th MGPR International symposium of pesticides in Food and the environment in Mediterranean Countries: Concerns, challenges and possible solutions. ISBN 978-88-95221-00-7, Bologna – Italy; 12 – 14 September 2018

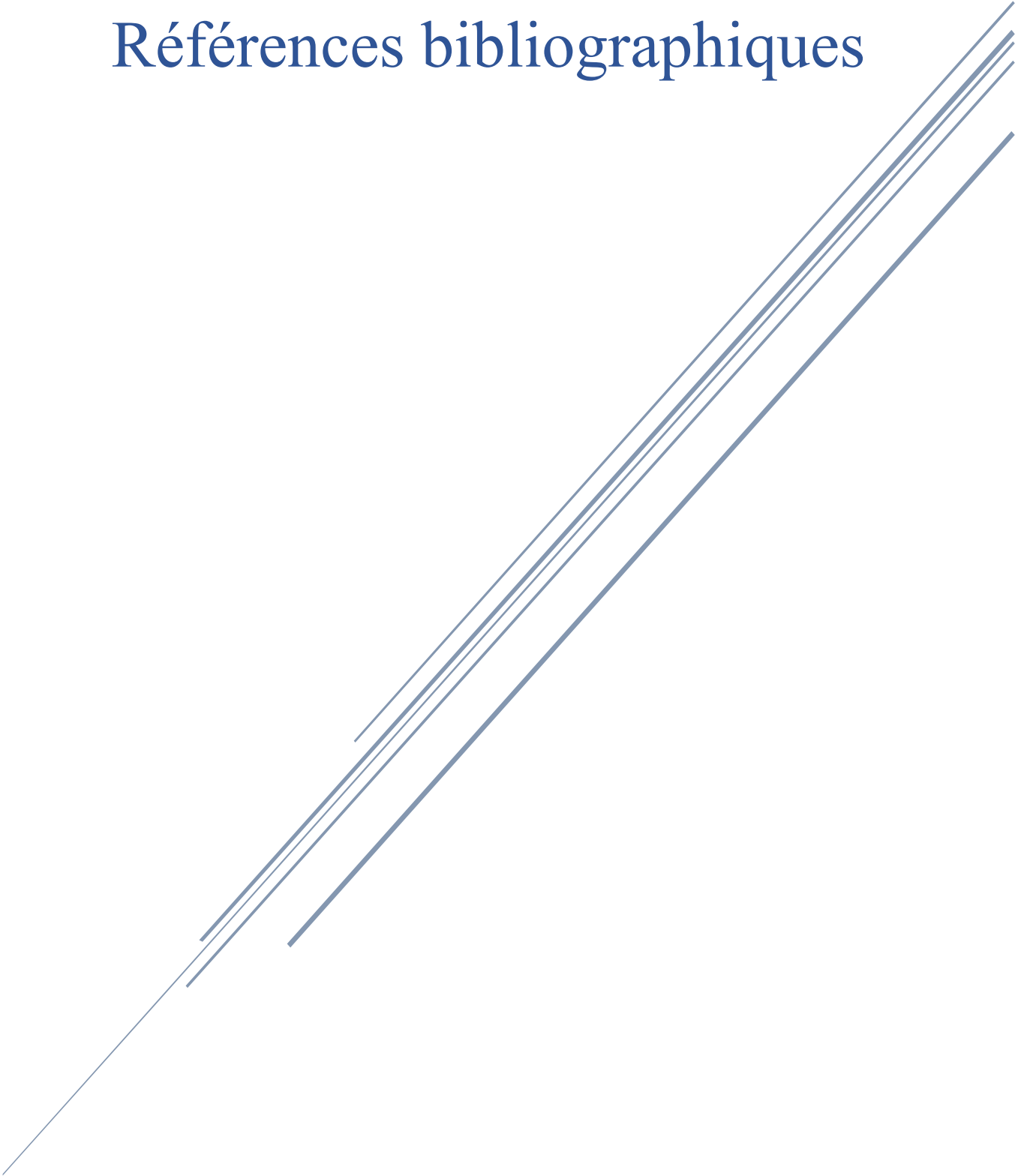
Présentations orales

- 1) Soudani, N., Belhamra, M., and Toumi, K. Pesticide use and risk perceptions among Algerian farmers. The 15th TUNISIA-JAPAN Symposium on Science, Society and Technology, tenue du 29 Novembre au 02 Décembre 2019 à Sousse, Tunisie.
- 2) Soudani, N. and Belhamra, M. The behaviour of the Algerian vegetable crops farmers handling a panoply of phytosanitary products. 2nd Mediterranean Forum “Research and Innovation as Tools for Sustainable Agriculture, Food and Nutrition Security”- CIHEAM Bari, tenue du 18 au 20 September 2018 à Bari, Italy.
- 3) Soudani, N. and Belhamra, M. Toxicity, persistence and degradation of pesticides used in greenhouses farming in Ziban, Biskra (Algeria). 10th MGPR International symposium of pesticides in Food and the environment in Mediterranean Countries: Concerns, challenges and possible solutions, tenue du 12 au 14 Septembre 2018 à Bologna, Italy.

Présentations par affiche

- 1) Soudani N. and Toumi K. Risque d'exposition des maraichers algériens aux produits phytopharmacétiques. Congrès du Groupe Français de recherches sur les Pesticides (GFP 2021). En ligne les 20 et 27 mai 2021.
- 2) Soudani N. and Toumi K. Pesticide use in vegetable production and risk for human health and the environment. 72nd International Symposium on Crop Protection (ISCP), Ghent University, Ghent, Belgium the online edition on Tuesday 18 May 2021.
- 3) Soudani, N., Belhamra, M., et Soudani, A. Recours intensif aux pesticides par les agriculteurs Algérien à la lutte chimique dans les serres (Biskra- Algérie). Premier colloque international sur la lutte biologique et intégrée en Algérie, (CILBIA1), tenue du 04 au 06 février 2019 à Batna – Algérie.
- 4) Soudani, N., Belhamra, M. et Soudani, A. Intensification et pression phytosanitaire des cultures maraichères en plasticulture à Ain Naga et Doucen (Biskra-Algérie). AGROSEM II : La connaissance, la valorisation et la gestion durable des ressources naturelles de l'université de Biskra, tenue du 09 au 10 Décembre 2018 à Biskra, Algérie.
- 5) Soudani, N., Belhamra, M. and Soudani, A. Situation resulted from the increase use of pesticides and the intensification of greenhouses in Zibans (Biskra- Algeria). International Workshop : Science of Agriculture, Agrifood and Nutrition "WISAAN" de l'université de Tlemcen, tenue du 13 au 14 Novembre 2018 à Tlemcen – Algérie.
- 6) Soudani, N. and Belhamra, M. State of consumption of pesticides in intensive agriculture in Biskra region (Algeria). The First Symposium Maghreb on the integrated Protection of Plants (Sympip- 2017), tenue du 30 Octobre au 01 Novembre 2017 à Sousse, Tunisie.
- 7) Soudani, N. and Belhamra, M. Potential risks generated from the toxicity and the half-life of Pesticides widespread in Algerian Vegetable farms. The International conference on environmental pollution, risk assessment and remediation ICEPRAR2018, tenue du 18 au 20 Avril 2018 à Mahdia, Tunisie.

Références bibliographiques



A

- Abdou, M. et Ahmed, M. (2015). Évaluation des effets des pesticides utilisés en lutte chimique contre le Criquet pèlerin sur les fourmis au Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 88, 8144-8154.
- Adjrah, Y., Dovlo, A., Karou, S. D., Eklou-Gadegbeku, K., Agbonon, A., de Souza, C., & Gbeassor, M. (2013). Survey of pesticide application on vegetables in the Littoral area of Togo. *Annals of agricultural and environmental medicine*, 20(4).
- Adriaanse, A. (1993). Environmental policy performance indicators. The Hague: SDU.p175.
- Afari-Sefa, V., Asare-Bediako, E., Kenyon, L., & Micah, J. A. (2015). Pesticide use practices and perceptions of vegetable farmers in the cocoa belts of the Ashanti and Western Regions of Ghana. *Advances in Crop Science and Technology*, 1-10.
- AFT « American Farmland Trust ». (2019). American Farmland Trust: Center for Agriculture in the Environment - Integrated Pest Management (AFT). Available via <http://www.aftresearch.org/ipm/risk> (Accessed 20 February 2019)
- Agnandji, P., Ayi-Fanou, L., Gbaguidi, M. A. N., Cachon, B. F., Hounha, M., Tchibozo, M. A. D., ... & Sanni, A. (2018). Assessment of Organophosphorus and Pyrethroid Pesticide Residues in *Lactuca sativa* L. and *Solanum macrocarpum* L. cultivated in Benin.”. *World Journal of Analytical Chemistry*, 6(1), 4-12.
- Ahmadou, Y., Kouebou, C., Malaa, D., Bourou, S., Olina, J.P. et Mbiandoun, M. (2016). Les engrais et les pesticides dans la riziculture périurbaine de la ville de Garoua, au Nord-Cameroun : cas de Nassarao et Boklé. *International Journal of Innovation and Applied Studies*.ISSN 2028-9324 Vol. 18 No. 1 Oct. 2016, pp. 26-35
- Ahouangninou, C., Fayomi, B. E., & 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.
- Aidaoui, S. (1994). Ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra, Ziban, Algérie. Thèse de doctorat, Université de Nancy 2, France.
- Aissaoui, H. (2012). Effet des produits phytosanitaires et les engrais, sur l’abondance des métaux lourds (Cu, Zn) dans le sol et le végétal dans la région de Biskra. Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra.
- Akay Demir, AE., Dilek, FB. and Yetis, U. (2019). A new screening index for pesticides leachability to groundwater. *J Environ Manage* ; 231:1193–202.
- Alahyane, S. (2017). La souveraineté alimentaire ou le droit des peuples à se nourrir eux-mêmes. *Politique étrangère*, (3), 167-177.
- Alam, S. A., & Wolff, H. (2016). Do pesticide sellers make farmers sick? Health, information, and adoption of technology in Bangladesh. *Journal of agricultural and resource economics*, 62-80.

- Alix, A., Barriuso, E., Bedos, C., Bonicelli, B., Caquet, T., Dubus, I., ... & Voltz, M. (2005). Devenir et transfert des pesticides dans l'environnement et impacts biologiques. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et CEMAGREF.
- Altman, J. (2017). Pesticide interactions in crop production : beneficial and deleterious effects. CRC Press, Boca Raton, FL ; 591.
- Amara, A. (2012). Evaluation de la toxicité de pesticides sur quatre niveaux trophiques marins : microalgues, échinoderme, bivalves et poisson. Thèse Doctorat. Sciences agricoles. Université de Bretagne occidentale -Brest ; Université de Tunis El Manar. p214.
- Amiard, J. C. (2011). Les risques chimiques environnementaux : Méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes. Lavoisier Tec & Doc. Paris - 201
- Arias-Estévez M, López-Periágo E, Martínez-Carballo E, Simal-Gándara J, Mejuto JC, García-Río L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agric Ecosyst Environ* ; 123(4):247–60
- Attard, J. et Klinghammer, A.. (2015). Comprendre et réduire les émissions des produits phytosanitaires.ECOPHYTO,http://www.alsace.chambagri.fr/uploads/media/8_comprendre_et_reduire_les_emissions_des_produits_phytosanitaires_01.pdf.
- Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, L., Lucas, P., ... & Ruelle, P. (2005). Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France).p902 .
- Ayadi-Hadji, H. (2013). Outils de gestion de la pollution phytosanitaire di use au niveau d'un territoire : cas d'application zone humide Ramsar de la Merja Zerga au Maroc. Histoire. Université de Paul Valéry - Montpellier III, France.pp365
- Ayad-Mokhtari, N. (2012). Identification et dosage des pesticides dans l'agriculture et les problèmes d'environnement liés. Thèse de Magister. Université d'Oran. p87.

B

- Badawy, M. I. (1998). Use and impact of pesticides in Egypt. *International Journal of Environmental Health Research*, 8(3), 223-239.
- Bahrouni, H. (2010). Caractérisation de l'efficacité technique des systèmes de pulvérisation et des pertes de pesticides appliqués aux cultures basses dans les régions méditerranéennes : cas de la Tunisie. Thèse Doctorat en Agronomie, Spécialité : Génie des procédés, Montpellier SupAgro et INAT.
- Baldi, I., Cordier, S., Coumoul, X., Elbaz, A., Gamet-Payraastre, L., Lebailly, P., ... & van Maele-Fabry, G. (2013). Pesticides : effets sur la santé. Rapport de recherche.

- Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). Paris. Editions EDP Sciences (ISSN : 1264-1782). pp1014.
- Barriuso, E. (2004). Estimation des risques environnementaux des pesticides. Editions Quae.
- Batsch, D. (2011). L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse Doctorat en Pharmacie, Université Henri Poincaré-Nancy 1, France. pp185.
- Belguet, A., Dahamna, S., Abdessemed, A., Ouffroukh, K., & Guendouz, A. (2019). Determination of abamectin pesticide residues in green pepper and courgette growing under greenhouse conditions (Eastern of Algeria–Setif). *EurAsian Journal of BioSciences*, 13(2), 1741-1745.
- Belhadi, A., Mehenni, M., and 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.
- Belkacemi, H. (2019). L'espace vert public à Biskra entre la planification et l'application. Magister en : Architecture. Université Mohamed Khider–Biskra. pp235.
- Ben Salem, A., Chaabane, H., Caboni, P., Angioni, A., Salghi, R., & Fattouch, S. (2019). Environmental Fate of Two Organophosphorus Insecticides in Soil Microcosms under Mediterranean Conditions and Their Effect on Soil Microbial Communities. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(3), 285-303.
- Benaboud, J., Oujidi, J., Elachouri, M., & Chafi, A. (2014). Pesticides used by Moroccan's farmer in oriental Morocco. Case of Berkane region. *Academia Journal of Environmental Sciences*, 2(4), 52–58.
- Bensakhria, A. (2018). Toxicité Aiguë: Analytical Toxicology. (2018, March 24). Page web : <https://www.analyticaltoxicology.com/toxicite-aigue> Consulté le (18/05/2020).
- Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., et Khechimi, W. (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM. 2019, pp.82.
- Bettiche, F. (2017). Usages des produits phytosanitaires dans les cultures sous serres des Ziban (Algérie) et évaluation des conséquences environnementales possibles. Thèse Doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra. pp327.
- Bettiche, F., Grunberger, O., & Belhamra, M. (2017). Contamination des eaux par les pesticides sous système de production intensive (serres), cas de Biskra, Algérie. *Courrier du Savoir*, 23, 39-48.
- Bettiche, F., Grünberger, O., Chaïb, W., Mancer, H., Bengouga, K., & Belhamra, M. (2019). *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, 13(2), 12-29.
- Bockstaller, C., Wohlfahrt, J., Hubert, A., et al. (2007). Les indicateurs de risque de transfert de produits phytosanitaires et leur validation. In : AFPP–protection des eaux de

- surface contre les transferts diffus de produits phytosanitaires. p. 12eme Actes de Colloque, Les Salons de l'Aveyron.
- Boileau E. (2015). Ecotoxicologie et impacts sanitaires des pesticides en réponse à l'augmentation des ravageurs amenés par les changements climatiques : portrait, perspectives et recommandations. p130
- Boissonnot R. (2014). Risques sanitaires et perception chez les agriculteurs utilisateurs de produits phytopharmaceutiques. Thèse Doctorat Alimentation et Nutrition. Conservatoire national des arts et métiers – CNAM et IRSTEA, France. pp282.
- Boithias L. (2012). Modélisation des transferts de pesticides à l'échelle des bassins versants en période de crue. Thèse Doctorat en Hydrologie, Hydrochimie, Sol, Environnement. Université de Toulouse, France. pp161.
- Boland, J., Koomen, I., van Lidth de Jeude, J., & Oudejans, J. (2004). Les pesticides : composition, utilisation et risques. Wageningen : Agrodok.
- Bouchemal, F. (2017). Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra. Thèse Doctorat en Hydraulique, Université Mohamed Khider-Biskra. pp179.
- Bouder, A., & Chella, T. (2017). Contribution de l'agriculture saharienne a la sécurité alimentaire en Algérie : mythe ou réalité ? *Lucrările Seminarului Geografic "Dimitrie Cantemir"*, 44, 159-174.
- Boukhalfa H. H. (2016). Caractérisation de la répartition spatiale des jets de pulvérisation : contribution à l'évaluation de la pollution du milieu naturel. Thèse Doctorat en Agronomie. Université Mohamed Khider-Biskra. pp145.
- Boukhalfa, H., Dhorban, A., Abrougui, K., and Belhamra, M. (2018). Characterization of greenhouse spray. *Communications in agricultural and applied biological sciences* 83/2, 349-354.
- Boumaza, A. (2017). Etude analytique et épidémiologique de la toxicité des pesticides utilisés dans l'Est Algérien. Thèse Doctorat, Université de Mentouri, Constantine, Algérie. pp98.
- Bouseba, B., Zertal, A., Beguet, J., Rouard, N., Devers, M., Martin, C., & Martin-Laurent, F. (2009). Evidence for 2, 4-D mineralisation in Mediterranean soils: impact of moisture content and temperature. *Pest Management Science : formerly Pesticide Science*, 65(9), 1021-1029.
- Boussier, J. (2015). Évaluation des pressions agricoles dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau : contribution au développement d'une méthodologie dans les conditions spécifiques de l'île de la Réunion. *Projet Pres' Agri'DOM*. Ingéniorat d'AgroParisTech. pp87.
- Bouziani, M. (2007). L'usage immodéré des pesticides. De graves conséquences sanitaires. *Le Guide de la Médecine et de la Santé*.

<http://www.santetropicale.com/santemag/algerie/poivue51.htm>. Consulté le: 20/01/2017.

- Branchet P. (2018). Caractérisation de l'impact des activités humaines sur la qualité de la ressource en eau en milieu urbain sub-saharien : étude de la contamination du bassin versant de la Méfou (Région Centre du Cameroun) par les pesticides et les résidus pharmaceutiques. Thèse Doctorat, IMT Mines Alès.
- Brodeur, J., Boivin, G., Cloutier, C., Bourgeois, G., Doyon, J., et Grenier, P. (2013). Impact des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels : conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec. Rapport Octobre 2013.
- Bueno A de F, Carvalho GA, Santos AC dos, Sosa-Gómez DR, Silva DM da. (2017). Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. *Ciência Rural*, 47(6):e20160829.

C

- Cabrera, A., Trigo, C., Cox, L., Celis, R. and Cornejo, J. (2008). A Comparative Study of the Use of Organoclay-Based Formulations and Organic Amendment to Reduce the Leaching of the Herbicide MCPA in Soil. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 36(12), pp.990-995.
- Calvet, R. (2005). Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. France agricole éditions.
- Cao, M., Li, S., Wang, Q., Wei, P., Liu, Y., Zhu, G. and Wang, M. (2015). Track of fate and primary metabolism of Trifloxystrobin in rice paddy ecosystem. *Science of the Total Environment*, 518, pp.417-423.
- Caquet, T. (2012). Evaluation des risques et écotoxicologie : le cas des pesticides. *Innovations Agronomiques*, 23, 29-54.
- Carriger, J.F., Rand, G.M., Gardinali, P.R. et al. (2006). Pesticides of potential ecological concern in sediment from South Florida canals: an ecological risk prioritization for aquatic arthropods. *Soil & Sediment Contamination*, 15(1), pp.21-45.
- Carvalho, F.P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), pp.48-60.
- CAW « Chambre agricole de la wilaya de Biskra » campagne agricole 2016/2017.
- Cerejeira, M. J., Silva, E., Batista, S., Trancoso, A., Centeno, M. S. L., & Silva Fernandes, A. (2000). Simazine, metribuzine and nitrates in ground water of agricultural areas of Portugal. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 75(3-4), 245-253.

- Chahbar, N., Belzunces, L. P., & Doumandji, S. (2011). Effet d'un insecticide utilisé en protection des végétaux : thiamethoxam sur l'abeille saharienne. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 1(2).
- Champeaux, C. (2006). Recours à l'utilisation de pesticides en grandes cultures : Evolution de l'indicateur de Fréquence de Traitements (IFT) au travers des enquêtes pratiques culturelles du SCEES entre 1994 et 2001. Rapport INRA.
- Charbonnier, E., Ronceux, A., Carpentier, A. S., Soubelet, H., & Barriuso, E. (2015). *Pesticides : Des impacts aux changements de pratiques*. Éditions Quae. p400.
- Chebbah, M. (2007). Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse Doctorat, Université de Mentouri, Constantine, Algérie.
- Chemaou El Fehri, I. (2016). Pratiques agricoles dans la province de khemisset : inventaire des pesticides, qualité des eaux souterraines et risques sanitaires. Thèse de doctorat en science de la vie et de la terre. Université Mohammed V, Rabat, Maroc. p205.
- Cilas, C., Goebel, F. R., Babin, R., & Avelino, J. 2015. Bioagresseurs des cultures tropicales face au changement climatique : quelques exemples. *Changement climatique et agricultures du monde*. Versailles (France) : Éd. Quae, 75-83.
- Cissé, I., Fall, S. T., Badiane, M., Diop, Y., & Diouf, A. (2006). Horticulture et usage des pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. Document de travail Écocité, (8).
- Cissé, I., Tandia, A. A., & Fall, S. T. 2003. Usage incontrôlé des pesticides en agriculture périurbaine : cas de la zone des Niayes au Sénégal. *Cahiers Agricultures*, 12(3), 181-186.
- Cocco, P. (2016). Pesticides and human health. In *Environmental Science: Oxford Research Encyclopedias*. p75. <http://icohrural.org/wp-content/uploads/2016/11/Pesticide-Review-2016-Pierluigi-Cocco.pdf>. Consulter le: 24/08/2017.
- Collier, R., Jukes, A., Daniel, C. and Hommes, M. (2016). Ecological selectivity of pesticides and application methods. *IOBC-WPRS Bulletin*, 118, pp.94-98.
- Corpen, E. (2003). Diagnostic régional de la contamination des eaux liée à l'usage des produits phytosanitaires : éléments méthodologiques. pp16.
- Costa, L. G., Giordano, G., Guizzetti, M., & Vitalone, A. (2008). Neurotoxicity of pesticides: a brief review. *Front Biosci*, 13(4), 1240-1249.
- Côte, M. (1980). L'Algérie, mondialisation et nouvelles territorialités. *Méditerranée*, en ligne, 116. Disponible sur : <http://mediterranee.revues.org/5406>. Mise en ligne le : 01 juin 2013.
- Coulibaly, V. (2015). Utilisation des pesticides dans le maraichage : un danger pour l'environnement et la santé publique. 3 MAI 2015 / CAJEBURKINA.

Cramer, D., & Howitt, D. L. (2004). *The Sage dictionary of statistics: a practical resource for students in the social sciences*. SAGE Publications. London. p199.

D

Da Silva, J. (2003). Aqueous photochemistry of pesticides Triadimefon and Triadimenol. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 154(2-3), pp.293-298.

Damalas C. and Koutroubas S. (2016). Farmers' exposure to pesticides: toxicity types and ways of prevention. *Toxics*, 4(1):1.

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.

Damalas C.A., Georgiou E.B. and Theodorou M.G. (2006). Pesticide use and safety practices among Greek tobacco farmers: A survey. *Int. J. Environ. Health Res.* 16:339-348.

Damalas, 2017 Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2017). Farmers' training on pesticide use is associated with elevated safety behavior. *Toxics*, 5(3), 19.

Damalas, C. A., & Khan, M. (2016). Farmers' attitudes towards pesticide labels: implications for personal and environmental safety. *International Journal of Pest Management*, 62(4), 319-325.

Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2014). Determinants of farmers' decisions on pesticide use in oriental tobacco: A survey of common practices. *International Journal of Pest Management*, 60(3), 224-231.

De Bon H., Huat J., Parrot L., Sinzogan A., Martin T., Malezieux E. and Vayssieres J. F. (2014). Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small farmers in sub-Saharan Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4):723-736.

Debbab, M. (2014). Contribution à l'étude de résidus d'une formulation de cyperméthrine (insecticide) dans certains légumes et leurs effets sur l'activité antioxydante de ces denrées. Thèse de Doctorat en chimie. Université Mohammed V - Agdal, Faculté des Sciences, Rabat.p169.

Debski, B., Kania, B.F. and Kuryl, T. (2007). Transformations of Diazinon, an organophosphate compound in the environment and poisoning by this compound. *Ecology-bratislava*, 26(1), pp.68.

Deepa, T. V., Lakshmi, G., Lakshmi, P. S., & Sreekanth, S. K. (2011). Ecological effects of pesticides. *Pesticides in the modern world-Pesticides use and management*. In Tech, Rijeka, 327-336.

Denhez, F. (2011). *Les Nouvelles Pollutions Invisibles : ces poisons qui nous entourent*. Delachaux.

- Desbois, D. (2017). Exposition aux pesticides : de l'insuffisance des statistiques de santé publique aux promesses des applications mobiles de santé. Terminal [En ligne], 120. Technologie de l'information, culture & société. Mis en ligne le 17 mai 2017, consulté le 11/09/2020.
- Dessaint, F., Biju-Duval, L., Buthiot, M., & Guillemin, J. P. (2014). Assessing the intensity of pesticide use in winter oilseed rape: study zone of Féney. OCL-Oilseeds and Fats, Crops and Lipids, 21(1).
- Detsouli, A., Amiar, L., Nabih, Z. et al. (2017). Les intoxications accidentelles par les pesticides au Maroc entre (2008-2014 : évolution et facteurs de risque. European Scientific Journal August 2017 edition Vol.13, No.24 ISSN: 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Devillers, J., Farret, R., Girardin, P., Rirvière, J. L., & Soulas, G. (2005). Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides. Tec et Doc. pp 278.
- Deziel, N., Friesen, M., Hoppin, J., Hines, C., Thomas, K. and Beane Freeman, L. (2015). A review of nonoccupational pathways for pesticide exposure in women living in agricultural areas. Environ Health Perspect ; 123: 515-24
- Diop, A. (2013). Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal). Thèse de doctorat en Chimie Analytique. Université du Littoral Côte d'Opale. pp.241.
- Djeffal A. (2014). Evaluation de la toxicité d'un insecticide carbamate " méthomyl " chez le rat Wistar : Stress oxydant et exploration des effets protecteurs de la supplémentation en sélénium et/ou en vitamine C. Thèse de Doctorat en Biochimie. Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie, p 225.
- DRAAF, 2014. La méthodologie de calcul de l'indicateur de fréquence de traitements (IFT). Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la région Auvergne-Rhône-Alpes, France, 4 p.
- Drolet, J. (2005). L'utilité des indicateurs de risques associés aux pesticides.
- Drouiche, A.M., Chaib, W., Rezeg, A., Bougherira, N., Hamzaoui, W. (2013). Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en régions arides ; cas d'ElGhrous (région des Ziban-Sud-Est Algérien) 11.
- DSA « Direction des services agricoles ». (2016). Statistiques de la direction des services agricoles de la wilaya de Biskra, Algérie.
- DSA « Direction des services agricoles ». (2019). Rapport annuel de la direction des services agricoles de la wilaya de Biskra, Algérie.
- Dugué, P., Kettela, V., Michel, I., & Simon, S. (2017). Diversité des processus d'innovation dans les systèmes maraîchers des Niayes (Sénégal) : entre intensification conventionnelle et transition agroécologique. Technologie et Innovation, 17 (2) : p16.

E

EFSA (European Food Safety Authority), 2016. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance acetamiprid. *EFSA Journal*: 14(11):4610, 26 pp. doi:10.2903/j.efsa.2016.4610. ISSN:1831-473

F

Fabre, J., Le Grusse, P., Mandart, E., Mghirbi, O., & Ayadi, H. (2015). EToPhy: logiciel de calcul d'indicateurs de risques sur la santé et l'environnement résultant de l'utilisation des produits phytosanitaires. In : 45. Congrès du Groupe Français des Pesticides : Devenir et Impact des Pesticides : Verrous à Lever et Nouveaux Enjeux, 2015/05/27-29, Versailles (France)

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

Farhi, A. (2002). Biskra : de l'oasis à la ville saharienne (Note). *Méditerranée*, 99(3), 77-82.

Fekih, H. (2015). Modélisation de la molécule Abamectine et effet de cette substance active sur le contrôle de certains ravageurs des cultures maraichères. Thèse magistère, Spécialité : Biotechnologie. Université d'Oran Mohamed Boudiaf. p101

Feola, G., Rahn, E. and Binder, C.R. (2011). Suitability of pesticide risk indicators for Less Developed Countries: A comparison. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3-4), pp.238-245.

Finizio, A. and Villa, S. (2002) Environmental risk assessment for pesticides. *Environmental Impact Assessment Review*, 22(3), pp.235-248

Forbes, V., Brain, R., Edwards, D., Galic, N., Hall, T., Honegger, J., Meyer, C., Moore, D., Nacci, D., Pastorok, R., Preuss, T., Railsback, S., Salice, C., Sibly, R., Tenhumberg, B., Thorbek, P. and Wang, M. (2015). Assessing pesticide risks to threatened and endangered species using population models: Findings and recommendations from a CropLife America Science Forum. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 11(3), pp.348-354.

Forget, G. (1991). Pesticides and the third world. *J. Toxicol. Environ. Health* 32, 11-31.

G

Gandar, A. (2015). Réponse aux stress multiples chez les poissons : effets croisés de la température et des cocktails de pesticides. 2015. Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier - Toulouse III. p311.

Garber K, Steege T. (2008). Problem formulation for the environmental fate and ecological risk, endangered species and drinking water assessments in support of the registration review of diazinon. Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances, US EPA,

- Washington, DC. Disponible sur :
https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/cleared_reviews/csr_PC-057801_26-Mar-08_a.pdf (Accessed 10 April 2019).
- Garcia, F. P., Ascencio, S. C., Oyarzún, J. C. G., Hernandez, A. C., & Alavarado, P. V. (2012). Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks. *J. Res. Environ. Sci. Toxicol*, 1(11), 279-293.
- Gaudiaut, T. (2019). Le marché juteux des pesticides. <https://fr.statista.com/infographie/11599/chiffre-affaires-pesticides-produits-phytosanitaires-dans-le-monde-et-par-region>. Consulté le: 06/05/2020.
- Gavrilescu, M. (2005). Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. *Engineering in life sciences*, 5(6), 497-526.
- Gesesew H.A., Woldemichael K., Massa D. and Mwanri L. (2016). Farmers Knowledge, Attitudes, Practices and Health Problems Associated with Pesticide Use in Rural Irrigation Villages, Southwest Ethiopia. *PLOS ONE* 11, e0162527.
- Ghelamallah, A. (2016). Etude des pucerons des cultures maraîchères et leurs complexes parasites dans la région de Mostaganem (Nord-Ouest Algérien). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie. p157.
- Ghenabzia, I. (2017). Evaluation de risques mutagènes et cancérigènes de quelques pesticides utilisés par les agriculteurs dans la région du sud algérien. Thèse de doctorat en Biologie. Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie. p206.
- Gil, Y. (2007). Caractérisation expérimentale des émissions de pesticides vers l'air pendant les pulvérisations viticoles. Thèse Doctorat en en Génie des Procédés. Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier - AGRO M., France. p118.
- Girardin, P., Bockstaller, C., & Werf, H. V. D. (1999). Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of sustainable agriculture*, 13(4), 5-21.
- Giroux, I., Roy, N., & Lamontagne, C. (2010). Présence de pesticides dans l'eau souterraine en milieu agricole : Étude pilote du bassin versant de la Rivière Châteauguay. *Canadian Water Resources Journal*, 35(4), 527-542.
- Glass, C. R., & Machera, K. (2009). Evaluating the risks of occupational pesticide exposure. *Hell. Plant Prot. J*, 2, 1-9.
- Gouda, A. I. (2018). Analyse des risques environnementaux liés aux pratiques phytosanitaires dans les écosystèmes aquatiques du bassin cotonnier (Nord Bénin). Thèse Doctorat en en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège, Gembloux, Belgique. p221.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botias, C. and Rotheray, E.L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), pp.1255957–1255957.

- Gouy, V., Gril, J.J., Laillet, B., Garon Boucher, C., Dubernet, J.F. et al. (1998). Suivi du transfert des produits phytosanitaires sur les bassins versants et exemple de modélisation globale. *Ingénieries eau-agriculture territoires*, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, p.3 - p.14.
- Greitens, T.J. and Day, E. (2007). An alternative way to evaluate the environmental effects of integrated pest management: Pesticide risk indicators. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(3), pp.213–222.
- Großkopf, C., Mielke, H., Westphal, D. et al. (2013). A new model for the prediction of agricultural operator exposure during professional application of plant protection products in outdoor crops. *J. Verbr. Lebensm.* 8, 143–153.
- Gustafson, D. I. (1989). Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 8(4), 339-357.
- Guy, Y. (2007). Réflexions sur les critères de choix d'indicateurs de pression phytosanitaire. *Courrier de l'environnement de l'INRA n° 54*, pp8.

H

- Hadjel, M., & Berkok, N. (2009). Evaluation of the Pollution of surface waters in the basin of west Algeria by Organo chlorine and Organophosphorus pesticides. In *The Third International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering*. 21-25 September 2008. Palma de Mallorca. Spain.
- Hafnaoui, M. A., Ben Said, M., Fekraoui, F., Hachemi, A., Noui, A., & Djabri, L. (2009). Impacts des facteurs climatiques Et morphologiques Sur Les inondations de Doucen. *Journal Algérien Des Régions Arides*, 8, 81–95.
- Hafnaoui, M. A., Hachemi, A., Ben Said, M., Noui, A., Fekraoui, F., Madi, M., ... Djabri, L. (2013). Vulnérabilité aux inondations dans les régions Sahariennes-Cas de Doucen. *Journal Algérien Des Régions Arides*, 148–155.
- Haj-Younes J., Huici O. and Jors E. (2015). Sale, storage and use of legal, illegal and obsolete pesticides in Bolivia. *Cogent Food Agric.* 1.
- Hamamouche, M. F., Kuper, M., & Lejars, C. (2015). Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. *Cahier Agricole*, 24(6), 412–419.
- Handal, A.J., Hund, L., Páez, M., Bear, S., Greenberg, C., Fenske, R.A. and Barr, D.B. (2015) Characterization of Pesticide Exposure in a Sample of Pregnant Women in Ecuador. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(4), pp.627–639.

- Hartani, T., Kuper, M. et Belhamra, M. (2014). Actes Biskra Arena. Actes PROCEEDINGS : Séminaire sur la gouvernance des eaux souterraines au Maghreb. Biskra, 03-juil décembre 2013.
- Hodaifa, G., Moya López, A. J. and Paraskeva, C. (2019) Chemical Management and Treatment of Agriculture and Food Industries Wastes. *Journal of Chemistry*, vol. 2019, Article ID 4089175, p3.
- Houamel, S. (2013). Etude bioécologique des thrips inféodés aux cultures sous serre dans la région d'El Ghrous (Biskra). Thèse Doctorat, Université de Biskra. p82
- Hutter, H. P., Kundi, M., Lemmerer, K., Poteser, M., Weitensfelder, L., Wallner, P., & Moshammer, H. (2018). Subjective symptoms of male workers linked to occupational pesticide exposure on coffee plantations in the Jarabacoa Region, Dominican Republic. *International journal of environmental research and public health*, 15(10), 2099.
- Hyvönen, T. and Salonen, J. (2002) Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels—a six-year experiment. *Plant Ecology*, 159(1), pp.73–81.

I

- Igbedioh, S. O. (1991). Effects of agricultural pesticides on humans, animals, and higher plants in developing countries. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 46(4), 218-224.
- Issa, Y., Sham'a, F.A., Nijem, K., Bjertness, E., Kristensen, P., 2010. Pesticide use and opportunities of exposure among farmers and their families: cross-sectional studies 1998-2006 from Hebron governorate, occupied Palestinian territory. *Environ. Health* 9.

J

- Jallow M., Awadh D., Albaho M., Devi V. and Thomas B. (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.
- Jang, Y., Lee, A. Y., Chang, S.H., Jeong, S.-H., Park, K.-H., Paik, M.-K., ... Cho, M.-H. (2016). Trifloxystrobin induces tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand (TRAIL)-mediated apoptosis in HaCaT, human keratinocyte cells. *Drug and Chemical Toxicology*, 40(1), pp.67-73
- Jansen, H. C. and Harmsen, J. (2011). Pesticide monitoring in the Central Rift Valley 2009-2010: ecosystems for water in Ethiopia (No. 2083). Alterra
- Janssens, J. (2002). Produits phytopharmaceutiques, malformations, congénitales et cancers (infantiles) : Un projet de la Province de Luxembourg et du Centre Universitaire du Limbourg, Louvain, 3590 Diepenbeek.

Johnson, R.M., Dahlgren, L., Siegfried, B.D. and Ellis, M.D. (2013) Acaricide, Fungicide and Drug Interactions in Honey Bees (*Apis mellifera*). PLoS ONE, 8(1), p.e54092.

Juan G., Voltz M. (2018). Fiches de renseignement sur les outils de la recherche pour réduire les pollutions de l'eau par les pesticides : document annexe du référentiel. Montpellier (France) : INRA. p440.

K

Kamrin, M.A. 2000. Pesticide profiles : toxicity, environmental impact, and fate. Boca Raton : Crc Press.

Kanda, M., Djaneye-Boundjou, G., Wala K., Gnandi, K., Batawila, K., Sanni, A. and Akpagana, K. (2013). Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 13(1).

Kanda, M., Wala, K., Batawila, K., Djaneye-Boundjou, G., Ahanchede, A., & Akpagana, K. (2009). Le maraîchage périurbain à Lomé : pratiques culturelles, risques sanitaires et dynamiques spatiales. *Cahiers Agricultures*, 18(4), 356-363.

Kangas, J. (1996). Comparison of predictive models for pesticide operator exposure. Nordic Council of Ministers. Copenhagen. ISBN 9291208892. p44.

Kanj, F. (2018). Outils et méthodes pour une politique territoriale de gestion raisonnée des pratiques agricoles : cas d'application dans la région de la Béqaa au Liban. *Géographie. Université Paul Valéry, Montpellier III*. p378.

Kaur, R., Hasan, A., Iqbal, N., Alam, S., Saini, M. K., & Raza, S. K. 2014. Synthesis and surface engineering of magnetic nanoparticles for environmental cleanup and pesticide residue analysis: a review. *Journal of separation science*, 37(14), 1805-1825.

Kearmy P and Karns, J. 1987. Chapter10. In : Fate of pesticide in the environment. USA: University of California Editions, Publications 3320, 1987.

Kerle, E.A., Jenkins, J.J. and Vogue, P.A. (1994) Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. EM 8561-E, Reprinted April 2007. p8.

Khachai, S. (2001). Contribution à l'étude du comportement hydro physiques des soles des périmètres de ITDAS, plaine de l'Outaya". Mémoire de Magister, Institut d'agronomie de Batna, 223p.

Khaled-Khodja, S., Cherif, S., & Rouibah, K. (2019). Contamination of Annaba bay (northeastern extremity of Algeria) by multi-pesticide residues. *Advances in Science, Technology & Innovation*, 129–132.

Khan, F. Z. A., Manzoor, S. A., Akmal, M., Imran, M. U., Taqi, M., Manzoor, S. A., ... & Joseph, S. V. (2020). Modeling pesticide use intention in Pakistani farmers using

- expanded versions of the theory of planned behavior. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 1-21.
- Kheddam-Benadjal, N. (2012). Enquête sur la gestion des pesticides en Algérie et recherche d'une méthode de lutte alternative contre *Meloidogyne incognita* (Nematoda: Meloidogynidae). Thèse de Magister en sciences agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach-Alger. p81.
- Kheliel, O., Youcef, L., & Achour, S. (2018). Qualité des eaux souterraines de la nappe du miopliocène de la région de Biskra et risque de la pollution par les nitrates. *Courrier du savoir*, 25, 135-142.
- Kim K. H., Kabir E. and Jahan S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575: 525-535.
- Kimbatsa, F. G., Mahoungou, E., & Ofoueme, Y. B. (2018). L'importance de l'horticulture dans la lutte contre l'insécurité alimentaire, la pauvreté et la protection de l'environnement à Brazzaville (République du Congo). *Études caribéennes*, (39-40).
- Kogan, M., Rojas, S., Gómez, P., Suárez, F., Muñoz, J. F., & Alister, C. (2007). Evaluation of six pesticides leaching indexes using field data of herbicide application in Casablanca Valley, Chile. *Water science and technology*, 56(2), 169-178.
- Kohler, H.R. and Tribskorn, R. (2013) Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Population Level and Beyond? *Science*, 341(6147), pp.759-765.
- Kookana, R. S., & Oliver, D. P. (2018). Environmental risk indicators: their potential utility in pesticide risk management and communication. In *Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management*. Academic Press. pp. 197-206.
- Kouzmine, Y. (2007). Dynamiques et mutations territoriales du Sahara algérien vers de nouvelles approches fondées sur l'observation. Thèse de Doctorat en Géographie. Université de Franche-Comté. p426.
- Kpan, G. K. K., Lazare Brou, Y. A. O., Diemeleou, C. A., N'guettia, R. K., Traore, S. K., & Dembele, A. (2019). Pratiques phytosanitaires en agriculture périurbaine et contamination des denrées par les pesticides : cas des maraîchers de Port-Bouët (Abidjan). *Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024)*, 41 (1): 6847-6863.
- Kromann, P., Pradel, W., Cole, D., Taipe, A., & Forbes, G. A. (2011). Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impacts of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production. *Journal of Environmental Protection*, 2(05), 581.

L

- Labdi, N. (2016). Impact du barrage de Foug El Gherza sur le développement de l'agriculture en irrigué dans le périmètre de Sidi Okba (Biskra). Thèse de Magister en sciences agronomiques. Université Mohamed Khider-Biskra. pp138.

- Lalancette, A. (2012). Méthodes de lutte à la contamination des eaux de surface en montérégie par les pesticides agricoles. Thèse de maître en environnement. Université de Sherbrooke. p122.
- Lammoglia, SK, Kennedy, MC, Barriuso, E., Alletto, L., Justes, E., Munier-Jolain, N., et Mamy, L. (2017). Évaluation des risques pour la santé humaine liés à l'utilisation de pesticides dans les systèmes de culture conventionnels et innovants avec le modèle BROWSE. *Environnement international*, 105, 66-78.
- Lapointe, G. (2004). Notions de toxicologie. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec. Deuxième édition, ISBN 2-551-22538-8. Disponible sur : www.reptox.csst.qc.ca.
- Larkin, D. J. and Tjeerdema, R. S. (2000) Fate and effects of Diazinon. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 166, pp. 49-82.
- L'bab, F. (2009). Contribution à l'étude des bio-agresseurs du maraîchage dans l'oasis du Doucen, Thèse d'ingénieur en agronomie, Université de Biskra, p44.
- Le Bars, M., Sidibe, F., Mandart, E., Fabre, J., Le Grusse, P., & Diakite, C. H. (2020). Évaluation des risques liés à l'utilisation de pesticides en culture cotonnière au Mali. *Cahiers Agricultures*, 29, 4.
- Le Bellec, F., Vélu, A., Fournier, P., Le Squin, S., Michels, T., Tendero, A., & Bockstaller, C. (2015). Helping farmers to reduce herbicide environmental impacts. *Ecological Indicators*, 54, 207-216.
- Le Doze, S. (2004). Propositions pour l'élaboration d'un diagnostic agri-environnemental de bananeraies adapté à la zone de montagne de Capesterre-Belle-Eau. Thèse d'ingénieur en Agronomie. Institut National Agronomique Paris-Grignon. p79.
- Lebik, H. (2011). Etude de la pollution des eaux souterraines par les pesticides-Cas de la région de Mouzaïa. Thèse de Magister en genie des procédés. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene-Alger. p162.
- Lebik, H., & Ait-amar, H. (2013). Pesticides occurrence in groundwater sources of Mouzaa (Algeria). *African Journal of Agricultural Research*, 8(31), 4269-4279.
- Lehmann, E., Turrero, N., Kolia, M., Konaté, Y., & De Alencastro, L. F. (2017). Dietary risk assessment of pesticides from vegetables and drinking water in gardening areas in Burkina Faso. *Science of the Total Environment*, 601, 1208-1216.
- Levitan, L. (1997, April) An Overview of Pesticide Impact Assessment Systems (aka" Pesticide Risk Indicators") based on Indexing or Ranking Pesticides by Environmental Impact. In *Workshop on Pesticide Risk Indicators*. pp. 21-23.
- Levitan, L. (2000) "How to" and "why": assessing the enviro-social impacts of pesticides. *Crop Protection*, 19(8-10), pp.629-636.

- Levitan, L., Merwin, I., & Kovach, J. (1995). Assessing the relative environmental impacts of agricultural pesticides: the quest for a holistic method. *Agriculture, ecosystems & environment*, 55(3), 153-168.
- Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. and Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064.
- Li, H., Cao, F., Zhao, F., Yang, Y., Teng, M., Wang, C. and Qiu, L. (2018) Developmental toxicity, oxidative stress and immunotoxicity induced by three strobilurins (Pyraclostrobin, Trifloxystrobin and Picoxystrobin) in zebrafish embryos. *Chemosphere*, 207, pp.781–790.
- Lichiheb, N., Bedos, C., Personne, E., & Barriuso, E. (2015). Synthèse des connaissances sur le transfert des pesticides vers l'atmosphère par volatilisation depuis les plantes. 2268-3798
- Linde, C. D., & Davis, U. C. (1994). Physicochemical properties and environmental fate of pesticides. Environmental hazards assessment program. Environmental Protection Agency, 53.
- Lomberk, J., Lherisson, B., and Araya, K. (2014). "Pesticides, Pollution, and People: An Overview of Public Health and Environment in Costa Rica." Accessed January 15, 2019. https://www.law.ufl.edu/law/wp-content/uploads/2012/04/2014-CR_Public-Health-Practicum_Report-final.pdf.
- Louchahi, M.R. (2015). Enquête sur les conditions d'utilisation des pesticides en agriculture dans la région centre de l'algérois et la perception des agriculteurs des risques associés à leur utilisation. Thèse de Magister. Université de l'ENSA El-Harrach, Alger. p103.

M

- Macharia, I.N., Mithoumlfer, M. and Waibel, H. (2009). Potential Environmental Impacts of Pesticides Use in the Vegetable Sub-Sector in Kenya. *African Journal of Horticultural Science*, 2, pp.138-151.
- Mackay, D., Shiu, W.Y. and Lee, S.C. (2006). Handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. CRC press.
- MADR "Ministre de l'agriculture et du développement rural". (2016). Statistiques annuelles du secteur agricole, Algérie.
- MADR "Ministre de l'Agriculture et du Développement Rural". (2020). Statistiques annuelles du secteur agricole, Algérie.
- Mahabali S. and Spanoghe P. (2015). Risk assessment of pesticide usage by farmers in Commewijne, Suriname, South America: a pilot study for the Alkmaar and Tamanredjo regions. *Environ. Monit. Assess.* 187.

- Maharaj, S. (2005). Modelling the behaviour and fate of priority pesticides in South Africa. Master of Science in Environmental and Water Science. University of the Western Cape. p207.
- Mahmood, I., Imadi, S.R., Shazadi, K., Gul, A. and Hakeem, K.R. (2016). Effects of pesticides on environment. Plant, soil and microbes. Springer, Cham, pp. 253-26
- Mairif, S. (2015). Contribution à l'étude de l'effet toxique des pesticides à usage domestique utilisé en Algérie. Thèse doctorat, université 8 MAI 1945-GUELMA. p154.
- Mamy, L. (2018). Caractérisation des impacts des pesticides sur l'environnement pour contribuer à évaluer la durabilité des systèmes de culture. Thèse Doctorat.
- Mamy, L., Barriuso, E., & Gabrielle, B. (2008). Évaluer les risques environnementaux des pesticides. Exemple du désherbage des cultures résistantes ou non au glyphosate. *Innovations agronomiques*, 3, 121-143.
- Mamy, L., Lammoglia, S. K., Alletto, L., Bedos, C., Benoit, P., Brun, F., ... & Moeys, J. (2017). Modélisation des flux de pesticides dans les systèmes de culture : effets de la variabilité du climat, des pratiques agricoles et des propriétés des sols et des pesticides. *Synthèse des résultats du projet Perform. INRA*, 59, pp.171-189.
- Manyilizu, W. B., Mdegela, R. H., Kazwala, R., Müller, M. H. B., Lyche, J. L., & Skjerve, E. (2015). Self-reported health effects among short and long-term pesticide Sprayers in Arusha, Northern Tanzania : a cross sectional study.
- Mardigian, P., Chalak, A., Fares, S., Parpia, A., El Asmar, K., & Habib, R. R. (2019). Pesticide practices in coastal agricultural farms of Lebanon. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-16.
- Marrs, T. T., & Ballantyne, B. (Eds.). (2004). *Pesticide toxicology and international regulation* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Martin, A. (2016). La production des savoirs sur les pesticides dans la réglementation européenne. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 27
- Masmoudi, A. (2012). Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban. Thèse Doctorat en Hydraulique. Université Mohamed Khider de Biskra. p139.
- Masmoudi, R. (2009). Etude de la fiabilité des systèmes de distribution d'eau potable en zones arides cas de la région de Biskra. Thèse Doctorat en Hydraulique. Université Mohamed Khider, Biskra. p183.
- Maurizi, B. et Verrel, J.L. (2002). Des indicateurs pour les actions de maîtrise des pollutions d'origine agricole. *Ingénieries N° 30*, p.3-14.

- Maznah, Z., Halimah, M., Ismail, B. S., & Idris, A. S. (2018). Evaluating Hexaconazole Leaching in Laboratory and Field Experiments: Effects of Application Rate, Soil Type, and Simulated Rainfall. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(5).
- Mebdoua, S., Lazali, M., Ounane, S. M., Tellah, S., Nabi, F., & Ounane, G. (2017). Evaluation of pesticide residues in fruits and vegetables from Algeria. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 10(2), 91-98.
- Meienberg, F., Neumeister, L. et Portmann, M. (2012). Dossier pesticides 08 : pesticides le prix à payer. *Solidaire* 221.
- Mekonnen, Y. (2002). Pesticide sprayers' knowledge, attitude and practice of pesticide use on agricultural farms of Ethiopia. *Occup. Med.* 52, 311-315.
- Mengistie B.T., Mol A.P.J. and Oosterveer P. (2017). Pesticide use practices among smallholder vegetable farmers in Ethiopian Central Rift Valley. *Environmental Development Sustainability*, 19: 301-324.
- Mfarrej, M.F.B. and Rara, F.M. (2019) Competitive, Sustainable Natural Pesticides. *Acta Ecologica Sinica*, 39(2), pp.145-151.
- Millet M. et Bedos C. 2016. La contamination de l'atmosphère par les produits phytosanitaires. Protéger les végétaux des attaques de pesticides nuisibles. *Pollution Atmosphérique. Pollution Atmosphérique - Numéro Spécial. SEPTEMBRE 2016.* pp166-176.
- Minguela, J.V. and Cunha, JPAR. (2010). *Manual de aplicação de produtos fitossanitários. Aprenda Fácil, Viçosa, Brazil*, p 588.
- Moneddji, A. D., Nyamador, W. S., Amevoin, K., Adéoti, R., Abbey, G. A., Ketoh, G. K., & Glitho, I. A. (2015). Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraichères au Sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(1), 98-107.
- Monographie. (2010). Données et statistiques de la wilaya de Biskra, Algérie.
- Monographie. (2015). Données et statistiques de la wilaya de Biskra, Algérie.
- Montiel León, J. M. (2019). Analyse des pesticides dans l'eau de surface, l'eau potable et les produits de consommation par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse. Thèse de doctorat en Chimie. Université de Montréal. p345.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2012). Concerns of environmental persistence of pesticides and human chronic diseases. *Clin Exp Pharmacol*, 5, e002.
- Mostephaoui, T., & Bensaid, R. (2014). Caractérisation des sols gypseux dans les zones arides par télédétection. Cas du sous-bassin versant d'oued djedi-biskra. *Lebanese Science Journal*, 15(1), 99-115.

- Moussaoui, K. M. et Tchoulak, Y. (2015). Enquête sur l'utilisation des pesticides en Algérie, Résultats et analyse. Ecole Nationale Polytechnique, Alger. p11.
- Mrema, E. J., Ngowi, A. V., Kishinhi, S. S., & Mamuya, S. H. (2017). Pesticide exposure and health problems among female horticulture workers in Tanzania. *Environmental health insights*, 11, 1178630217715237.
- Mubushar, M., Aldosari, F. O., Baig, M. B., Alotaibi, B. M., & Khan, A. Q. (2019). Assessment of farmers on their knowledge regarding pesticide usage and biosafety. *Saudi journal of biological sciences*, 26(7), 1903-1910.
- Muhammetoglu, A., Durmaz, S. and Uslu, B. (2010). Evaluation of the Environmental Impact of Pesticides by Application of Three Risk Indicators. *Environmental Forensics*, 11(1-2), pp.179-186.
- Muliele, T. M., Manzenza, C. M., Ekuke, L. W., Diaka, C. P., Ndikubwayo, D. M., Kapalay, O. M., & Mundele, A. N. 2017. Utilisation et gestion des pesticides en cultures maraîchères : cas de la zone de Nkolo dans la province du Kongo Central, République démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 119, 11954-11972.

N

- Nabti, D., Achou, M., & Soltani, N. (2015). DECIS 25 EC toxicity to Algerian honeybees. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 3 (6), 285-288.
- Naré R. W. A., Savadogo P. W., Gnankambary Z., Nacro H. B. and Sedogo M. P. (2015). Analyzing risks related to the use of pesticides in vegetable gardens in Burkina Faso. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 4(4):165-172.
- Navarro, S., Vela, N. and Navarro, G. (2007) Review. An overview on the environmental behaviour of pesticide residues in soils. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5(3), p.357.
- 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. Thèse de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Communauté Française de Belgique, Académie Universitaire Wallonie Europe, Gembloux. p 278.
- Neghab, M., Momenbella-Fard, M., Naziaghdam, R., Salahshour, N., Kazemi, M., & Alipour, H. (2014). The effects of exposure to pesticides on the fecundity status of farm workers resident in a rural region of Fars province, southern Iran. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 4(4), 324-328. doi:10.12980/APJTB.4.2014C586
- Neumeister, L. (2017). Toxic Load Indicator a new tool for analyzing and evaluating pesticide use. Aid by Trade Foundation and the Better Cotton Initiative. Germany. p34.

- Nguyen, T. M., Le, N. T. T., Havukainen, J. and Hannaway, D. B. (2018) Pesticide use in vegetable production: A survey of Vietnamese farmers' knowledge. *Plant Protection Science*, 54(4), pp.203-214.
- Nilsson, C., Reus, J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., ... & Alfarroba, F. (1999). Comparing environmental risk indicators for pesticides. Results of the European CAPER Project. CLM. Center for Agriculture and Environment, Uttec, 184.
- NRC "National Research Council". (1993). Committee on Long-Range Soil and Water Conservation (1993) Soil and water quality : an agenda for agriculture. Washington, D.C.: National Academy Press, Cop.
- Ntow, W.J., Gijzen, H.J., Kelderman, P., Drechsel, P. (2006). Farmer perceptions and pesticide use practices in vegetable production in Ghana. *Pest Manag. Sci.* 62, 356–365.

O

- Ochoa, V. and Maestroni, B. (2018) Pesticides in Water, Soil, and Sediments. *Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management*, pp.133-147.
- Ohui, D. H. (2014). Risques environnement et sanitaires associés à l'utilisation des pesticides autour de petites retenues d'eau : cas du bassin versant de Nariarle. Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement. Institut International d'Ingénierie, Ouagadougou, Burkina Faso. p110.
- Omran, E. S. E., & Negm, A. (2020). Impacts of Pesticides on Soil and Water Resources in Algeria: 1-23.
- Ouendeno, M. L., Daoudi, A., & Colin, J. P. 2015. Les trajectoires professionnelles des jeunes dans la néo-agriculture saharienne (Biskra, Algérie) revisitées par la théorie de l'agricultural ladder. *Cahiers Agricultures*, 24(6), 396-403.
- Oukali-Haouchine, O. (2013). Impact d'un herbicide la métribuzine sur l'environnement et modélisation de son transfert dans le sol par percolation. Thèse de doctorat en Génie de l'Environnement. Ecole Nationale Polytechnique, Alger.
- Oukali-Haouchine, O., Barriuso, E., Mayata, Y., & Moussaoui, K. M. (2013). Factors affecting metribuzin retention in Algerian soils and assessment of the risks of contamination. *Environmental monitoring and assessment*, 185(5), 4107-4115.
- Ould Baba Sy, M. (2005). Recharge et Paleorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Université de Tunis El Manar. Thèse de Doctorat. p271.
- Öztaş, D., Kurt, B., Koç, A., Akbaba, M., & İler, H. (2018). Knowledge Level, Attitude, and Behaviors of Farmers in Çukurova Region regarding the Use of Pesticides. *BioMed research international*. p8.

P

- Paranjape, K., Gowariker, V., Krishnamurthy, V.N. and Gowariker S. (2014). The pesticide encyclopedia. Oxfordshire, UK: CAB International, pp.495-496.
- Pereira, V.J., Cunha, J.P.A.R. da, Morais, T.P. de, Oliveira, J.P.R. de and Morais, J.B. de (2016). Physical-chemical properties of pesticides: concepts, applications, and interactions with the environment. *Bioscience Journal*, 32(3), pp.627-641.
- Pérez-Lucas, G., Vela, N., El Aatik, A. and Navarro, S. (2019). Chapter: Environmental Risk of Groundwater Pollution by Pesticide Leaching through the Soil Profile. *Pesticides - Use and Misuse and Their Impact in the Environment*. IntechOpen. P27.
- Perry M. J., Marbella A. and Layde P. M. (2002). Compliance with required pesticide? Specific protective equipment use. *American journal of industrial medicine*, 41(1):70-73.
- Pham, T.L. and Bui, H.M. 2018. Comparison of Diazinon Toxicity to Temperate and Tropical Freshwater Daphnia Species. *Journal of Chemistry*, pp.1-5.
- Pingault, N. (2007). Améliorer la qualité de l'eau : un indicateur pour favoriser une utilisation durable des produits phytosanitaires. *Atelier OCDE*, 19-21.
- Pingault, N., Pleyber, É., Champeaux, C., Guichard, L., & Omon, B. (2009). Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures : l'indicateur de fréquence de traitement. *NESE n° 32*, pp. 61-94.
- Pretty, J.N. 2005. *The pesticide detox: towards a more sustainable agriculture*. London : Earthscan.

Q

- Quarouch, H., Kuper, M., & Lejars, C. (2015). Recevoir la parole des institutions et la leur retourner : parcours agricoles de jeunes ruraux diplômés-chômeurs dans le Saïss-Maroc. *Cahiers Agricultures*, 24(6), 349-355.
- Queyrel, W. (2014). Modélisation du devenir des pesticides dans les sols à partir d'un modèle agronomique : évaluation sur le long terme. Thèse de doctorat en Agronomie, Hydrologie et Environnement. Université Pierre et Marie Curie -Paris VI. p263.

R

- Ramdani, N., Tahri, N., & Belhadi, A. (2009). Pratiques phytosanitaires chez les serristes maraîchers des localités de Tolga et de Sidi-Okba, Biskra. *Journal Algérien Des Régions Arides*, 8, 73-80.
- Razi (2017). Etude éco-biologique des thrips de la région de Biskra. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques. Université Mohamed Khider-Biskra. p145.
- Rechachi, M. Z. (2017). Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation des sols en régions arides et semi arides : cas de la région du Ziban. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques, Université Mohamed Khider-Biskra. p412.

- Rehman et al., (2016). Endosulfan, A Global pesticides: A review of its toxicity on various aspectss of fish biology. *International journal of general medicine and pharmacy*. Vol.5 (6), Oct-Nov; 17-26
- Rekibi, F. (2015) Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra. Thèse de Magister en Sciences Agronomiques. Université de Biskra. p189.
- Reus, J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., et al. (2002) Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(2), pp.177-187.
- Ribera, D., & Taberly, J. (2011). Mélanges de polluants, toxicité, écotoxicité et évaluation des risques. Rapport Final. p296.
- Rico, A. (2004). Pesticides : dangers, risques, prévention. Les risques alimentaires d'origine chimique.

S

- Sahali, N., Hadjou, L., & Djenane, A. (2016). L'Agriculture Algérienne face aux défis de la sécurité alimentaire : analyse rétrospective et bilan de la nouvelle politique agricole. *Géographies, Géopolitiques et Géostratégies Régionales*, 4(1), 31-42.
- Saidi, I., Mouhouche, F., & Abri, H. (2017). Determination of pesticide residues on tomatoes from greenhouses in Boudouaou and Douaouda, Algeria. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 9(2), 207-212.
- Salhi, A. (2017). Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis d'Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement. Thèse de Doctorat en Géographie. Aix-Marseille Université. P477.
- Samuel, O., Saint-Laurent, L., Dumas, P., Langlois, É., Gingras, G., 2001. Pesticides en milieu serricole : caractérisation de l'exposition des travailleurs et évaluation des délais de réentrée 133.
- Sanchez-Bayo, F. and Goka, K. (2016). Impacts of Pesticides on Honey Bees. In book: *Beekeeping and Bee Conservation - Advances in Research Chapter: 4*. Publisher: InTech Open Science. Editors: Emerson D. Chambo. P76-97.
- Sankoh A.I., Whittle R., Semple K.T., Jones K.C. and Sweetman A.J. (2016). An assessment of the impacts of pesticide use on the environment and health of rice farmers in Sierra Leone. *Environ. Int.* 94:458-466.
- Sarhan, O.M.M. and Al-Sahhaf, Z.Y. (2011). Histological and biochemical effects of diazinon on liver and kidney of rabbits. *Life Science journal*; 8(4):1183-1189
- Sarmah, A.K., Müller, K. and Ahmad, R. (2004). Fate and behaviour of pesticides in the agroecosystem - a review with a New Zealand perspective. *Soil Research*, 42(2), p.125.

- Sarwar, M. (2015). The dangers of pesticides associated with public health and preventing of the risks. *International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 1(2), 130-136.
- Satya Sai M. V., Revati G. D., Ramya R., Swaroop A. M., Maheswari E. and Kumar M. M. (2019). Knowledge and perception of farmers regarding pesticide usage in a rural farming village, Southern India. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 23(1): 32.
- Schäfer, R.B., Liess, M., Altenburger, R., Filser, J., Hollert, H., Roß-Nickoll, M., Schäffer, A. and Scheringer, M. (2019) Future pesticide risk assessment: narrowing the gap between intention and reality. *Environmental Sciences Europe*, 31(1).
- Schiffers B, Mar A. 2011. Sécurité des opérateurs et bonnes pratiques phytosanitaires. Manuel n°4 : COLEACP/PIP Press. Bruxelles/Belgique : Programme PIP/COLEACP. 246 p
- Schiffers, B., Cooper, J. F., Copin, A., Coste, C. M., Deuse, J. P. L., Jourdain, D., ... & Wynn, N. (1995). Banques de données sur les pesticides et l'environnement : outils précieux pour l'information et la promotion d'un usage correct des pesticides. *Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux*, 30(4), 319-338.
- Schmolke, A., Thorbek, P., Chapman, P. and Grimm, V. (2010). Ecological models and pesticide risk assessment: Current modeling practice. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(4), pp.1006-1012.
- Schreinemachers, P., Afari-Sefa, V., Heng, C. H., Dung, P. T. M., Praneetvatakul, S., & Srinivasan, R. (2015). Safe and sustainable crop protection in Southeast Asia: status, challenges and policy options. *Environmental Science & Policy*, 54, 357-366.
- Sedrati, N. (2011). Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud-Est-Algérien. Université Badji Mokhtar-Annaba. Thèse de Doctorat. p.252.
- Sinfort, C., Cotteux, E., Bonicelli, B., Ruelle, B., Douchin, M., Berenger, M., ... & De Rudnicki, V. (2009). Influence des conditions et matériels de pulvérisation sur les pertes de pesticides au sol et dans l'air en viticulture Languedocienne. Colloque National du Groupe Français d'études et d'applications des pesticides, May 2009, Toulouse, France. p4.
- Singh, G. (2019). Movement of Crop Protection Chemicals in Different Environmental Components. *International Journal of Plant and Environment* 5(3): 206-209.
- Sire, A. et Amouroux, I. (2016). Détermination de Valeurs Guides Environnementales (VGE) mollusques alternatives aux Normes de Qualité Environnementale (NQE) définies dans la DCE.p82.
- Slama S. L'utilisation des produits phytosanitaires dans l'agriculture : L'inquiétante situation. L'oranais. Consulté le : Juin 2018. Disponible sur : <https://www.lejdo.net/>.

- Socorro, J. (2015). Etude de la réactivité hétérogène de pesticides adsorbés sur des particules modèles atmosphériques : cinétiques et produits de dégradation. Thèse Doctorat en Chimie de l'Environnement. Aix-Marseille Université. p270.
- Sogreah. (2009). Etude d'inventaire et de développement de la PMH wilaya de Biskra. SOGREA H JLL/CME/JMO/AMI/MKH/DLU/JHU– N° 23400 74 Juillet 2009
- Son D., Zerbo F., Bonzi S., Schiffers B., Somda I. and Legreve A. (2018). Assessment of tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) producers' exposure level to pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). *International journal of environmental research and public health*, 15(2): 204.
- Son, D. (2018). Analyse des risques liés à l'emploi des pesticides et mesure de la performance de la lutte intégrée en culture de tomate au Burkina Faso. Thèse Doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège, Liège, Belgique. p236.
- 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), 6.
- Sougnabé, S. P., Yandia, A., Acheleke, J., Brevault, T., Vaissayre, M., & Ngartoubam, L. T. (2010). Pratiques phytosanitaires paysannes dans les savanes d'Afrique centrale. PRASAC.
- Spiller H. A. and Aleguas A. (2008). Agricultural chemical exposure in small farmers in Guyana. *Toxicological and Environ Chemistry*, 90(2): 361-365.
- Stoytcheva, M. (2011). Pesticides: formulations, effects, fate. Rijeka, Croatia: Intech. pesticides - Formulations, Effects, Fate. Publisher: INTECH. ISBN 978-953-307-532-7, Hard cover, 808 pages.

T

- Tadeo, J.L., Albero, B. and Perez, R.A. (2019). Chapter 1 Pesticides: Classification and Properties in Analysis of Pesticides in Food and Environmental Samples, Second Edition. Boca Raton: Taylor & Francis. Crc Press, p439.
- Tahar, W., Bordjiba, O., & Aimeur, N. (2017). Effet de l'hymexazole et de la prométhryne sur la qualité physico-chimique et biologique des sols agricoles. Synthèse: *Revue des Sciences et de la Technologie*, 35(1), 37-44.
- Tanner, C. M., Ross, G. W., Jewell, S. A., Hauser, R. A., Jankovic, J., Factor, S. A., ... & Bhudhikanok, G. S. (2009). Occupation and risk of parkinsonism: a multicenter case-control study. *Archives of neurology*, 66(9), 1106-1113.
- Tasei, J. N. (1996). Impact des pesticides sur les Abeilles et les autres pollinisateurs. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°29, p10.

- Teklu B. M., Adriaanse P. I., Ter Horst M. M., Deneer J. W. and Van den Brink P. J. (2015). Surface water risk assessment of pesticides in Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 508:566-574.
- Topping, C. J., Aldrich, A., & Berny, P. (2020). Overhaul environmental risk assessment for pesticides. *Science*, 367(6476), 360-363.
- Touadi S. Mme Touadi Sofia, S/D de la protection des végétaux et du contrôle phytosanitaire au ministère de l'agriculture : «18 tonnes de pesticides refoulées pour non-conformité». 2018 Novembre. Available from: <http://www.elmoudjahid.com/fr/actualites/130228>.
- Toumi K., Joly L., Vleminck C. and Schiffers B. (2017a). Risk assessment of Florists Exposed to Pesticide Residues through Handling of Flowers and Preparing Bouquets. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5): 526.
- Toumi K., Vleminckx C., Van Loco J. and Schiffers B. (2016b). A survey of pesticide residues in cut flowers from various countries. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 81(3):493-502
- Toumi K., Vleminckx C., van Loco J. and Schiffers B. (2016a). Pesticide Residues on Three Cut Flower Species and Potential Exposure of Florists in Belgium. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(10): 943.

V

- Van Der Werf, H. M. (1997). Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 31(31), 5-22.
- Van Der Werf, H.M.G. (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 60(2-3), pp.81-96.
- Vapnek, J., Pagotto, I., & Kwoka, M. (2007). Designing national pesticide legislation (No. 97). *Food & Agriculture Org.* p119.
- Velki, M., Di Paolo, C., Nelles, J., Seiler, T. B. and Hollert, H. (2017) Diuron and Diazinon alter the behavior of zebrafish. *Chemosphere* 180:65–76
- Vercruyse F., Steurbaut W. (2001) On-farm exposure to pesticides. *Parasitica* 57, p. 39–50.
- Vergucht, S. D., De Vogel, S., Pussemier, L., Misson, C., Vrancken, C., Marot, J., ... & Steurbaut, W. (2006). Health and environmental effects of pesticides and type 18 biocides (HEEPEBI). *Belgian Science Policy and Federal Public Service, Health, Food Chain Safety and Environment, Brussels, Belgium*, 485.
- Voltz, M., & Louchart, X. (2001). Les facteurs-clés de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface. *Ingénieries Numéro Spécial "Phytosanitaires : transfert, diagnostic et solutions correctives*, 45-54. embryos and larvae in the absence of acute toxicity. *Chemosphere*, 180, pp.65-76.

U

Ugya, A.Y., Ahmad, A.M., Adamu, H.I., Giwa, S.M. and Imam, T.S. (2019). Phytoextraction of Heavy Metals and Risk Associated with Vegetables Grown from Soil Irrigated with Refinery Wastewater. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 7(2), pp.14-19.

W

Weng, C. Y., & Black, C. (2015). Taiwanese farm workers' pesticide knowledge, attitudes, behaviors and clothing practices. *International journal of environmental health research*, 25(6), 685-696.

Wesseling, C., Aragón, A., Castillo, L., Corriols, M., Chaverri, F., Cruz, E. D. L., ... & De Joode, B. V. W. (2001). Hazardous pesticides in Central America. *International journal of occupational and environmental health*, 7(4), 287-294.

Wilson, C., & Tisdell, C. (2001). Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological economics*, 39(3), 449-462.

Wognin, A., Ouffoue, S., Assemand, E., Tano, K. et Koffi-Nevry, R.(2014). Perception des risques sanitaires dans le maraîchage à Abidjan, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7, 1829.

Wolfe, H.R., Durham, W.F. and Armstrong, J.F.(1967). Exposure of Workers to Pesticides. *Arch. Environ. Health Int. J.* 14, 622–633.

Wong, H.L., Garthwaite, D.G., Ramwell, C.T. and Brown, C.D.(2018). Assessment of exposure of professional agricultural operators to pesticides. *Sci. Total Environ.* 619–620, 874–882.

Wumbei, A., Houbraken, M., & Spanoghe, P. (2019). Pesticides use and exposure among yam farmers in the Nanumba traditional area of Ghana. *Environmental monitoring and assessment*, 191(5), 307.

Y

Yadav, I. C., & Devi, N. L. (2017). Pesticides classification and its impact on human and environment. *Environmental Science and Engineering*, 6, 140-158.

Yahia, K. (2016). Effet de certains perturbateurs endocriniens (pesticides) sur la reproduction chez le rat Wistar. Thèse de doctorat en Biologie. Université Bordj Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. p173.

Yarou, B. B., Silvie, P., Assogba Komlan, F., Mensah, A., Alabi, T., Verheggen, F., & Francis, F. (2017). Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(4), 288-304.

Yuantari M.G.C., Van Gestel C.A.M., Van Straalen N.M., Widianarko B., Sunoko H.R. and Shobib M.N. (2015). Knowledge, attitude, and practice of Indonesian farmers

regarding the use of personal protective equipment against pesticide exposure. Environ. Monit. Assess.187.

Z

- Zacharia, J. T. (2011). Ecological effects of pesticides. Pesticides in the modern world-Risks and Benefits, IntechPublisher, 129-142.
- Zahm, F. (2013). Méthodes de diagnostic de l'exploitation agricole et indicatrice : panorama et cas particuliers appliqués à l'évaluation des pratiques phytosanitaires. Ingénieries eau-agriculture territoires, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, 2003, p. 13 - p. 34. fihal-00465539f
- Zenker, A., Cicero, M. R., Prestinaci, F., Bottoni, P., & Carere, M. (2014). Bioaccumulation and biomagnification potential of pharmaceuticals with a focus to the aquatic environment. Journal of Environmental Management, 133, 378-387.
- Zenkri, S. (2017). L'agriculture saharienne : Du système oasien traditionnel à l'établissement d'une conception d'économie de marché et de développement durable. Thèse de doctorat en Sciences agronomiques. Université Abdelhamid Ibenbadis – Mostaganem. p244.
- Zhu, L., Wang, H., Liu, H., and Li, W. (2013) Effect of Trifloxystrobin on hatching, survival, and gene expression of endocrine biomarkers in early life stages of medaka (*Oryzias latipes*). Environmental Toxicology, 30(6), pp.648-655.
- Zikankuba, V. L., Mwanyika, G., Ntwenya, J. E., & James, A. (2019). Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. Cogent Food & Agriculture, 5(1), 1601544.

Sitographie

- EPA (US Environmental Protection Agency) (1996): <https://www.epa.gov>. Consulté le 10/06/2020.
- EU Pesticides database. (2019). European Union Pesticides database [online] <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides> (Accessed October 2019).
- EXTOXNET. (2006). Pesticides proprieties database. Available on : <http://extoxnet.orst.edu/ghindex.html>
- FAO documents archives (nd) : <http://www.fao.org/3/a-i5008e.pdf>. Consulté le 01/05/2020.
- FAO documents archives.
- FAO documents archives. (2012)
- FAO documents archives. (2013)

- FAO documents archives. <http://www.fao.org/3/ae922f/ae922f04.htm>. Consulté le 10/06/2020.
- FAO documents archives.
http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/French_Policy10.pdf. Consulté le 15/06/2020.
- FAO. (2010). Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides: Directives concernant l'élaboration de politiques en matière de gestion des ravageurs et des pesticides. E-ISBN 978-92-5-206827-3. Disponible sur : http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/French_Policy10.pdf
- FAOSTAT (2017) : <http://faostat3.fao.org>. Consulté le (05/05/2020).
- FAOSTAT (2018) : <http://faostat3.fao.org>. Consulté le (06/05/2020).
- FAOSTAT (2019) : <http://faostat3.fao.org>. Consulté le (08/05/2020).
- FAOSTAT (2020) : <http://faostat3.fao.org>. Consulté le (12/05/2020).
- <http://documents.vsemirnyjbank.org/curated/ru/107381468303547492/pdf/E42550v20P1255000PUBLIC00Box379794B.pdf>
- <http://referentiel.nouvelobs.com/file/776/359776.pdf>
- http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/5225/11wg352_inf5_fre.pdf?sequence=2
- http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/5225/11wg352_inf5_fre.pdf?sequence=2
- http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/5225/11wg352_inf5_fre.pdf?sequence=2
- <http://www.croplifeasia.org/wp-content/uploads/2013/02/EightBenefits-Pesticides.pdf>
- <http://www.pic.int/home.php?type=t&id=49&sid=16>
- http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf 16
- <http://www.saicm.org/Portals/12/documents/saicmtxts/SAICM-publication-FR.pdf>.
- <https://ecophytopic.fr/concevoir-son-systeme/risques-de-contamination-des-compartiments-de-lenvironnement>
- https://ecophytopic.fr/sites/default/files/upload-documents-entity-import-csv/n%25C2%25B0%252017%2520Effet%2520non%2520intentionnel%2520vf_0.pdf
- https://ecophytopic.fr/sites/default/files/upload-documents-entity-import-csv/n%25C2%25B0%252017%2520Effet%2520non%2520intentionnel%2520vf_0.pdf

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128043>

[https://open.unido.org/api/documents/13360741/download/PNM%20algerie%20%20final%20\(3\).pdf](https://open.unido.org/api/documents/13360741/download/PNM%20algerie%20%20final%20(3).pdf)

https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/protocole_de_montreal.php4

https://www.analyticaltoxicology.com/wp-content/uploads/2017/04/Chapitre-II_Toxicite%3%A9-aigu%3%AB.pdf

<https://www.energyservicesexperts.com/fr/2019/02/22/algerie-la-valeur-de-la-production-agricole-a-atteint-3-000-milliards-da-en-2018/>. Consulté le : 16/04/2020

<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-protocole-aarhus-7603/>

<https://www.ledauphine.com/economie-et-finance/2018/02/20/faut-il-craindre-les-pesticides-dans-nos-assiettes>

La presse : <http://www.aps.dz/economie/75536-culture-maraichere-une-production-nationale-de-plus-de-130-millions-de-quintaux-en-2017>. Consulter le 12/04/2020

La presse :

http://www.lemaghreb.dz.com/?page=detail_actualite&rubrique=Nation&id=98346. Consulter le : 16/04/2020

PAN : <http://pan-afrique.org/fr/Rapports/Etudes/MOCI.pdf>

PPDB (Pesticide Properties Database). (2018). Pesticide Properties Database. University of Hertfordshire, UK. Available on: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/search.htm>; Consulted on 2018.

Statistica (2020) : <https://www.statista.com/statistics/264662/top-producers-of-fresh-vegetables-worldwide/>. Consulter le 01/05/2020

World Health Organization. (2019). Global situation of pesticide management in agriculture and public health: Report of a 2018 WHO–FAO survey. Food & Agriculture Org. <http://www.fao.org/3/ca7032en/ca7032en.pdf>.

www.Atlasocio.com. Consulté le : 16/09/2019.

« En résumé, l'agriculture pollue l'eau à grands coups de nitrates, de phosphates et de pesticides, et les consommateurs paient non seulement leur nourriture, les aides aux agriculteurs, mais aussi la facture de dépollution. »

Isabelle Saporta (2011). Le livre noir de l'agriculture : comment on assassine nos paysans, notre santé et l'environnement.