

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER-BISKRA

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

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

THESE

En Vue de l'Obtention du Diplôme De Doctorat en Sciences Agronomiques

THEME

Usages des produits phytosanitaires dans les cultures sous serres des Ziban (Algérie) et évaluation des conséquences environnementales possibles

Présentée par :

Mme BETTICHE Farida

Devant le jury :

- **Président** : Pr. Barkat Djamel, Université Biskra ;
- **Rapporteur** : Pr. Belhamra Mohamed, Université Biskra ;
- **Co-rapporteur** : Dr. Grunberger Olivier, HDR-IRD-Montpellier-France ;
- **Examineur** : Pr. Si Bachir Abdelkrim, Université Batna2 ;
- **Examineur** : Dr. Chafaa Smail, Université Batna2 ;
- **Invité** : Dr. Heddadj Djilali, chercheur. Chambre d'agriculture de Bretagne -France.

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

L'aboutissement de cette thèse est le fruit d'une collaboration active, à ce titre, je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon Directeur de thèse: le Pr. M. Belhamra pour son ouverture, ses conseils, sa patience et la confiance qu'il m'a témoigné dans la réalisation de mon travail de recherche ; Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à mon Co-directeur, le Dr. O. Grunberger, chercheur à IRD-UMR-Lisah-Montpellier-France.

Mes remerciements, mon respect et ma gratitude à Monsieur D. Heddadj, Docteur en Agronomie, ex-directeur de l'INRA (Algérie), chercheur à la chambre d'agriculture de Bretagne (France), membre du conseil scientifique du CRSTRA et qui a collaboré activement au pilotage de cette thèse et la mise en relation avec le laboratoire d'analyse des micropolluants : le Laboceca-Brest-France.

À Madame F. Lakhdari, Directrice du CRSTRA, femme de science, mes sincères remerciements qui m'a soutenu le long de cette thèse en mettant à ma disposition son temps, les moyens et matériels.

Mes sincères remerciements et ma gratitude aux membres du jury:

Pr. D. Barkat, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury de l'actuelle thèse;

Pr. A. Si Bachir, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'examiner la présente thèse ;

Dr. S. Chafaa, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'examiner cette thèse ;

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude au Pr. A. Farhi, Doyen de la faculté des sciences exactes, des sciences de la nature et de la vie- université de Biskra, pour les facilités qu'il m'a accordées et pour sa grandeur d'esprit et sa modestie et au Dr. K. Guimeur, chef de département des sciences agronomiques qui a répondu toujours présent à tous besoins et pour son dévouement ;

J'adresse mes sincères remerciements à Mme. G. Durand, et Mr. Laporte, respectivement Directrice déléguée et Directeur du Laboceca; Aussi, je remercie M. Lehennaf, unité des « polluants minéraux », J. Dussauze, responsable service « polluants organiques », pour m'avoir accueilli au sein de leurs laboratoires et leurs équipes de recherche et d'avoir facilité mon accès aux matériels ;

Je remercie vivement mes collègues et amis qui m'ont beaucoup aidé scientifiquement et soutenu moralement : H. Mancer, W. Chaïb, A. Bencheick, S. Aoun, Kh. Bengouga, H. Guesmia, A. Djellouli, N. Salemkour, S. Boudibi, S. Tahar Chaouch, A. Belhadi, T. Ouamane, T. Othmane, M.K. Bensalah, N. Dakhia,...

Un grand merci aux administrateurs des établissements publics que nous avons interviewés: agriculteurs et vendeurs de PPS (grainetiers) des Ziban enquêtés, sans lesquels, ce travail n'aurait jamais pu voir le jour ;

Chers parents, Mari, enfants, famille, belle-famille, amis, collègues et voisins,...je vous dis merci d'avoir été toujours présents pour moi ;

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux :

Qui nous enseignent

Qui nous soutiennent

Qui nous chérissent

Qui ont cru et croient toujours en moi

Mme F. Bettiche

Sommaire	Pages
Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations et acronymes	
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE 1. LES PESTICIDES	5
Introduction	5
1.1 Définition et composition des pesticides	5
1.2 Histoire des pesticides	6
1.3 Classification des pesticides	8
1.3.1 Classification chimique	8
1.3.1.1 Les pesticides inorganiques	8
1.3.1.2 Les pesticides organo-métalliques	8
1.3.1.3 Les pesticides organiques	8
1.3.2 Classification biologique	9
1.3.3 Classification selon usage	9
1.3.4 Classification selon risque toxicologique	9
1.4 Quelques familles de pesticides	10
1.4.1 Avermectines et abamectine	10
1.4.2 Benzimidazoles	11
1.4.2.1 Le carbendazime	11
1.4.3 Carbamates	12
1.4.3.1 Le propamocarbe	12
1.4.4 Chloronitriles	13
1.4.4.1 Le chlorothalonil	13
1.4.5 Néonicotinoïdes	13
1.4.5.1 L'imidaclopride	14
1.4.6 Organochlorés	15
1.4.6.1 Le DDT	16
1.4.6.1.1 DDE et DDD	17
1.4.7 Organophosphorés	18
1.4.7.1 L'azinphos méthyle	19
1.4.7.2 Le parathion-méthyle	19
1.4.8 Pyréthriinoïdes	20
1.4.8.1 La deltaméthrine	20
1.4.9 Triazines	21
1.4.9.1 L'atrazine	21
1.4.9.1.1 Déséthyl-atrazine (DEA)	22
1.4.10 Triazoles	22
1.4.10.1 L'hexaconazole	23
1.4.10.2 Le difénoconazole	23
1.5 Les effets environnementaux des pesticides dans les différents compartiments	23
1.5.1 Contamination et devenir des pesticides dans l'atmosphère	24

1.5.1.1	Processus de contamination de l'air par les pesticides	24
1.5.1.2	Devenir des pesticides dans l'air	25
1.5.1.2.1	Le transport	25
1.5.1.2.2	La photodégradation	25
1.5.1.3	Des exemples de contamination de l'air par les pesticides	26
1.5.2	Contamination et devenir des pesticides dans sol	26
1.5.2.1	Des exemples de Contamination du sol par les pesticides	27
1.5.2.2	Devenir des pesticides dans le sol	30
1.5.2.2.1	Phénomènes de rétention	30
1.5.2.2.1.1	Facteurs influant l'adsorption	31
1.5.2.2.2	Dégradation des pesticides dans le sol	34
1.5.2.2.3	Transport des pesticides dans et à la surface du sol	35
1.5.3	Contamination de l'eau par les pesticides	36
1.5.3.1	Des exemples de contamination des eaux	36
1.5.3.2	Processus de transfert des pesticides impliqués dans la contamination de l'eau	40
1.6	Commerce des pesticides : Production-Import-Export	40
1.6.1	Dans le monde	40
1.6.2	En Algérie	41
1.6.2.1	Import-Export	41
1.6.2.2	Production	43
1.7	Utilisation/consommation des pesticides	45
1.7.1	Consommation mondiale	45
1.7.2	Consommation algérienne	46
1.8	Quelques risques liés à l'exposition aux pesticides	48
1.8.1	Effet des pesticides sur la santé	48
1.9	La réglementation, les conventions et les normes des pesticides	49
1.9.1	Législation Algérienne	49
1.9.2	Conventions	50
1.9.3	Normes	51
	Conclusions	53
CHAPITRE 2. PLASTICULTURE, ENQUETES ET ANALYSES		
	Introduction	54
2.1	Serriculture ou plasticulture	54
2.1.1	Définitions	54
2.1.2	Types	54
2.1.3	Importance de la plasticulture	55
2.1.3.1	Importance dans le monde et en Méditerranée	55
2.1.3.2	Importance en Algérie	56
2.1.3.3	Importance des espèces cultivées	57
2.1.4	Plasticulture et intrants chimiques	59
2.2	Les Enquêtes	59
2.2.1	Les enquêtes par questionnaire	59
2.2.1.1	Etapes de déroulement de l'enquête	66
2.2.2	Les enquêtes par analyse	67
2.2.2.1	Les méthode et étapes d'analyses	72
	Conclusions	77

CHAPITRE 3. DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL	
Introduction	80
3.1 Données générales sur la zone d'étude	80
3.1.1 Localisation géographique	80
3.1.2 Situation géomorphologique	81
3.1.3 Données physiques de base	82
3.1.3.1 Pédologie	82
3.1.3.2 Hydrologie et ressources en eau de surface	82
3.1.4 Synthèse climatique	84
3.1.5 Lithostratigraphie	87
3.1.6 Hydrogéologie	88
3.2 Agriculture	89
3.2.1 Plastique ou maraîchage sous abris plastique	89
3.3 La lutte anti-acridienne	90
3.4 La lutte anti-vectorielle	91
Conclusions	93
PARTIE II. PRATIQUE ET EXPERIMENTATIONS	
CHAPITRE 1. ENQUETES USAGES ET PRATIQUES PHYTOSANITAIRES	
Introduction	94
1.1 Matériels et méthodes	94
1.1.1 Enquête auprès d'institutions liés au domaine agricole	95
1.1.2 Enquête auprès de vendeurs de semences et d'intrants chimiques	95
1.1.3 Enquête auprès d'agriculteurs	96
1.1.3.1 Présentation de l'échantillon	96
1.1.3.2 L'outil « Questionnaire »	97
1.1.3.3 Déroulement de l'enquête	98
1.1.3.4 Codage et saisie des variables	98
1.1.3.5 Analyses statistiques	98
1.1.3.5.1 Analyses descriptives (uni-varié)	98
1.1.3.5.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	98
1.1.4 Auto-observation-approche « Photos »	100
1.2 Résultats et discussion	100
1.2.1 Données à partir d'institutions liés au domaine agricole	100
1.2.1.1 Direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Biskra	100
1.2.1.2 Chambre d'agriculture	102
1.2.1.3 Chambre de commerce	102
1.2.1.4 Institut National de la protection des Végétaux (INPV)-Biskra	103
1.2.1.5 Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS)	104
1.2.1.6 Agence du Bassin Hydrographique du Sahara (ABHS)	105
1.2.2 Enquête auprès de vendeurs de PPS	105
1.2.3 Enquête auprès d'agriculteurs	111
1.2.3.1 Analyses descriptives (uni-varié)	111
Axe1 : Données générales sur les agriculteurs, leurs exploitations et sur les cultures sous serre (CSS).	111
Axe2 : Importance des autres systèmes agricoles /d'autres productions	114
Axe3 : Rotation agricole sous serre	114

Axe4 : Fumure organique et minérale et Travail du sol	115
Axe5 : Matériel et équipement agricoles	118
Axe6 : RDD ou la règle de décision pour le choix variétale des cultures	120
Axe 7 : Conduite et entretien de la culture principale	120
Axe 8 : Fertilisation	122
Axe9 : Caractéristiques du réseau d'irrigation et gestion de cette dernière	123
Axe 10 : Usages et pratiques phytosanitaires	125
A. Identification des pesticides	125
B. Statut réglementaire des SA rapportées	126
C. Usage des pesticides	129
D. Fréquence des traitements phytosanitaires/cycle cultural	134
E. Quantification des pesticides apportés sous système serricole	135
F. Calendriers des traitements	139
G. Coût des produits et traitements phytosanitaires	142
H. Choix des spécialités, précaution à prendre et gestion des restes des mélanges	142
I. Pulvérisation	143
J. Stockage des pesticides et gestion des emballages vides	144
1.2.3.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	145
1.2.4 Données à partir d'observations indépendantes	147
Conclusions	148
CHAPITRE 2. CARACTERISATION DES SOLS ET DES EAUX	
Introduction	153
2.1 Caractérisation des sols agricoles sous serre	153
2.1.1 Matériels et méthodes	154
2.1.1.1 Prélèvement et conservation des échantillons de sol	154
2.1.1.2 Analyses physico-chimiques du sol	155
2.1.2 Résultats et discussion	156
2.1.2.1 Caractérisation Sol : analyses physico-chimiques	156
2.2 Caractérisation et analyses physico-chimiques des eaux	159
2.2.1 Matériels et méthodes	160
2.2.1.1 Choix des points de prélèvement	160
2.2.1.2 Echantillonnage	160
2.2.1.3 Analyses physico-chimiques des eaux	161
2.2.2. Résultats et discussion	161
2.2.2.1 Analyses physiques (Analyse in situ)	161
2.2.2.2 Analyses chimiques « eau » (au laboratoire)	164
2.2.2.3 Faciès chimique des eaux	169
2.2.2.4 Evaluation des échantillons d'eau souterraine	170
2.2.2.4.1 Adéquation des eaux souterraines à des fins de consommation et domestiques	171
2.2.2.4.2 Adéquation des eaux souterraines à l'irrigation	171
2.2.2.4.3 Estimation de la vulnérabilité des eaux à la pollution	177
Conclusions	179
CHAPITRE 3. EVALUATION DES DEGRES DE CONTAMINATION DES SOLS ET DES EAUX	
Introduction	180
3.1 Niveau de contamination des sols agricoles serricoles par les pesticides	180
3.1.1 Matériels et méthodes	180

3.1.1.1 Analyse de pesticides en multirésidus par chromatographie liquide et gazeuse	180
3.1.1.1.1 Extraction Solide-Liquide (ESL)	180
3.1.1.1.2 Purification ou « Clean up » par SPE	183
3.1.1.1.3 Concentration	184
3.1.1.1.4 Analyse proprement dite	186
3.1.2 Résultats et discussion	188
3.1.2.1 Analyse multi-résidus dans les sols étudiés	188
- Pesticides détectés par GC/MS et LC/MS	190
a) Approche par produit	192
b) Origines possibles des pesticides non soupçonnés	196
b.1 Hypothèses concernant les sources de l'azinphos-méthyl	197
- Dérive : usage sur palmier dattier	198
- Dérive : usage sur pommier	199
b.2 Hypothèses concernant les sources du p,p'-DDE	200
- Usage ancien : DDT utilisé en lutte anti-vectorielle et anti-acridienne	200
- Usage récent : DDT contenu dans le dicofol	201
b.3 Hypothèses concernant les sources du parathion-méthyl	201
3.1.2.2 Confrontation données analytiques et données d'enquête	202
3.2 Niveau de contamination des eaux en milieu serricole par les pesticides	204
3.2.1 Matériels et méthodes	204
3.2.1.1 Analyses des pesticides	204
3.2.1.1.1 Analyse en multi-résidus par chromatographie liquide et gazeuse	204
3.2.1.1.2 Préparation des échantillons « Eau »	204
3.2.1.1.2.1 Extraction Liquide Liquide (LLE)	204
3.2.1.1.2.2 Purification ou « Clean up » par SPE	205
3.2.1.1.2.3 Concentration	206
3.2.1.1.3 Analyse proprement dite	206
3.2.2 Résultats et discussion	206
3.2.2.1 Résultats en LC	207
3.2.2.2 Résultats d'analyse en GC/MS (mode Sim et Scan)	208
3.2.2.2.1 Mode SIM	208
3.2.2.2.2 Mode Scan	214
Conclusions	217
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	220
Références bibliographiques	225
Annexes	
Résumés	

LISTE DES TABLEAUX			Page
Partie I			
Chapitre1	Tableau 1	Historique de l'évolution des trois plus grandes classes de pesticides d'avant 1900 à nos jours avec exemples de substances actives (d'après El Mrabet, (2008) modifié).	7
	Tableau 2	Données sur la contamination du sol par les pesticides au niveau Méditerranéen et dans le monde.	29
	Tableau 3	Données sur la contamination des eaux par les pesticides au niveau Méditerranéen et ailleurs dans le monde.	38
	Tableau 4	Liste des produits phytosanitaires à usage agricole fabriqués par Alphyt.	44
	Tableau 5	Top10 des pays consommateurs de pesticides selon la consommation annuelle (Millions de Kg) et consommation algérienne.	46
Chapitre2	Tableau 6	Evolution des superficies (ha) des serres et des hauts tunnels plastiques à travers le monde, en Méditerranée avec focus sur l'Algérie.	58
	Tableau 7	Types de données pouvant être obtenu par enquête par questionnaire sur le système serricole et de pleins champs.	63
	Tableau 8	Enquête analytiques pour différentes fins : étude, surveillance, contrôle, évaluation-suivi des pesticides dans les matrices sol et eaux.	70
Chapitre3	Tableau 9	Principales unités lithostratigraphiques aquifères dans les Ziban.	87
	Tableau 10	Données générales sur quelques zones agricoles au niveau des Ziban (ANAT, 2006) et sur les systèmes de cultures pratiqués.	92
Partie II			
Chapitre1	Tableau 11	Dates et doses de semis et rendements des principales cultures cultivées en région saharienne.	104
	Tableau 12	Rang des principales SA rapportées (par ordre alphabétique) vendues et classées par les vendeurs de PPS des 6 localités selon importance des ventes pour usage en Maraîchage sous serre (en gras les mieux classés).	110
	Tableau 13	Type de sol selon appréciation des enquêtés des six communes.	112
	Tableau 14	Profondeur (m) des forages reportés par les enquêtés.	113
	Tableau 15	Temps, coût et nombre de passage des différentes opérations du travail du sol sous serre.	118
	Tableau 16	Mois et période de semi et de plantation des principales cultures maraîchères conduites sous serre à Biskra.	121
	Tableau 17	Nombre d'heures d'aération des serres selon saison.	122
	Tableau 18	Mode de calcul de l'eau consommée par année culturale pour les cultures sous serre.	125
	Tableau 19	Comparaison entre la présente étude et l'étude de Belhadj et al (2016) concernant les usages phytosanitaires.	128
	Tableau 20	Nombre moyen de substances actives utilisées/cycle cultural.	129
	Tableau 21	Nombre moyen des familles chimiques d'appartenance des SA utilisées.	130
	Tableau 22	Nombre moyen de spécialités commerciales utilisées/spécialité.	132
	Tableau 23	Nombre moyen des traitements phytosanitaires effectués/type d'usage/cycle cultural.	135
	Tableau 24	Calcul des quantités (kg/ha/année) de substances actives apportées sous système serricoles dans la région des Ziban.	138
	Tableau 25	Calendrier des traitements phytosanitaires des plus importants bioagresseurs au Ziban Est et distribution des SA le long des cycles agricoles annuels.	140
	Tableau 26	Calendrier des traitements phytosanitaires des plus importants bioagresseurs au Ziban Ouest et distribution des SA le long des cycles agricoles annuels.	141
	Tableau 27	Raisons du choix des spécialités pesticides, gestion des restes de cuves et de l'eau de rinçage des cuves.	143
	Tableau 28	Barycentres (Centre de gravité) des classes et les observations correspondantes aux classes.	145

	Tableau 29	Les SA signalées dans le paysage agricole (serricole) des Ziban par nos différentes enquêtes et observations.	151
Chapitre2	Tableau 30	Quelques propriétés physico-chimiques des sols des sites d'étude (0-30cm).	158
	Tableau 31	Taux du calcaire total (%) des sols étudiés (0-30cm).	159
	Tableau 32	Résultats des analyses physiques des eaux prélevées in situ.	163
	Tableau 33	Classes de vulnérabilité à la pollution par les herbicides selon Kolpin et al. (2000).	164
	Tableau 34	Concentration des cations et des anions des eaux (en mg/l).	166
	Tableau 35	Plage de valeurs du titre hydrotimétrique.	169
	Tableau 36	Faciès chimique des eaux échantillonnées.	169
	Tableau 37	Pourcentage de Sodium.	172
	Tableau 38	Classification SAR des eaux des sites étudiés.	173
	Tableau 39	Classification des eaux selon la Conductivité électrique.	173
	Tableau 40	Classification des eaux selon RSC.	175
	Tableau 41	Classification selon l'Indice de Perméabilité.	176
	Tableau 42	Classification selon le Rapport Mg/Ca.	177
	Tableau 43	Estimation de la vulnérabilité des eaux à la pollution par rapport à quelques caractéristiques physico-chimique analysés et indices calculés.	178
Chapitre3	Tableau 44	Nombre et type de SA analysées par GC et LC (identifiées et non identifiées par les enquêtes) dans la matrice « sol ».	188
	Tableau 45	Classement par importance des substances actives analysées et non analysées dans la matrice « Sol » rapportées par les enquêtes.	189
	Tableau 46	Concentrations (ug/kg de poids sec) des principales SA- pesticides et métabolites détectés par GC/MS dans les sols étudiés.	191
	Tableau 47	Comparaisons des concentrations des SA inçoupsonnés détectées dans la présente étude avec quelques données de la littérature.	195
	Tableau 48	Confrontation des résultats analytiques (détection : première ligne pour chaque SA) (en ug/kg de poids sec) et de terrain (enquête).	203
	Tableau 49	Classement par importance des substances actives analysées et non analysées dans la matrice « Eau »8	207
	Tableau 50	Type et concentrations des pesticides détectés (par LC) dans l'eau de surface.	205
	Tableau 51	Concentration du naphtalène détecté (par GC) dans l'eau de surface.	208
	Tableau 52	Exemples de la Littérature <i>de détections</i> des 2 molécules fongicides (<i>carbendazime et propamocarb HCl</i>) dans les eaux de surface et/ou souterraine sous différentes utilisations des terres.	211

LISTE DES FIGURES			Page
Partie I			
Chapitre1	Figure1	Les voies de dispersion d'un fongicide (pyrimethanil) appliqué dans une serre de tomate (selon Katsoulas et al. 2012, modifié)	31
	Figure 2	Valeur des importations-exportations de pesticides (10 ³ US \$) en Algérie entre 1961 et 2014 (FAOSTAT, 2016).	42
	Figure 3	Usage de Pesticides par (kg / ha) de terres arables, entre 2005-2009 - FAO (2013).	47
	Figure 4	Evolution des quantités de pesticides utilisées en Algérie par catégorie entre 1990 et 2013 (Etablie à partir des données de : FAOSTAT).	48
Chapitre2	Figure 5	Schéma général de toute technique d'analyse de résidus de pesticides et modes d'extraction, d'analyse et de détection les plus répandus.	73
Chapitre3	Figure 6	Situations géographiques des Ziban (Biskra). Par rapport à la situation Africaine et Algérienne (à droite) et locale (en haut).	81
	Figure 7	Localisation de Oued El Abiod et du barrage de Foum El Gherza (d'après Hamamouche et al. 2015).	83
	Figure 8	Oued Tamda (Commune de Doucen) selon Hafnaoui et al.2009 modifié.	85
	Figure 9	Diagramme Ombrothermique de Gausson et Bagnouls de la région de Biskra (Période1973-2014)	86
	Figure10	Projection de la région de Biskra sur le climagramme d'Emberger	86
Partie II			
Chapitre1	Figure 11	Schéma récapitulatif des différentes parties enquêtées.	94
	Figure 12	Application de la CAH selon la méthode de Ward sous XLSTAT.	99
	Figure 13	Classement des Substances Actives et Spécialités Commerciales selon les quantités totales vendues sur 17 jours (Avril 2012) chez un vendeur de PPS situé à M'Ziraa.	106
	Figure 14	Importances des familles chimique d'appartenance des SA déclarées par le vendeur de PPS situé à M'Ziraa.	106
	Figure 15	Importances des familles chimique d'appartenance des SA déclarées par les vendeurs de PPS.	108
	Figure 16	Les 10 plus importantes familles chimiques de pesticides/communes (d'après le nombre de déclaration).	130
	Figure 17	Les pulvérisateurs à dos : a) manuel et b) thermique à moteur.	143
	Figure 18	Dendrogramme sous la CAH des observations.	145
	Figure 19	Comparaison : nombre de SA et traitement moyens (total enquêtés) et des 3 classes obtenues par la CAH : 1 = Grandes serres, 2 type petites serres ; 3 locataires à Tomate.	147
Chapitre2	Figure 20	Localisation des points d'échantillonnage sol et eau.	153
	Figure 21	Photos satellitaires (google earth) de localisation des serres échantillonnées situées sur le site de a)M'Ziraa, b) Ain Naga, c)Sidi Okba, d) El Ghrous, e)Doucen et f) Lioua.	154
	Figure 22	Plan d'échantillonnage du sol.	155
	Figure 23	Concentration en nitrates des différentes eaux échantillonnées.	168
	Figure 24	Diagramme de Piper.	170
	Figure 25	Conductivité électrique des différentes eaux échantillonnées.	174
	Figure 26	Classification des eaux destinées à l'irrigation (D'après Riverside, 1954).	175
Chapitre3	Figure 27	Les principales étapes de l'extraction des pesticides à partir d'un échantillon sol.	182

Figure 28	Les étapes de la purification des extraits à partir d'échantillons sol.	183
Figure 29	Le TurboVap.	184
Figure 30	a) Le TurboVap, b) le Vortex, c) une bouteille de dichlorométhane munit de d) pompe doseuse à volume réglable.	185
Figure 31	Récupération de la solution concentrée dans des vials doubles avec et sans insert.	185
Figure 32	Chromatographe en phase gazeuse munit d'un : a) injecteur automatique (autosampler), b) carrousel, c) four/emplacement colonne analytique, d) détecteur et e) enregistreur, f) tableau de réglage des conditions analytiques.	186
Figure 33	Principales hypothèses des origines possibles des SA insoupçonnées.	196
Figure 34	Les concentrations de l'Azinphos-méthyl sur 2 profondeurs de sol des six sites d'étude.	198
Figure 35	Colonnes de purification pour échantillons d'eau.	206
Figure 36	Situation des points d'échantillonnage des eaux par rapport aux principaux Oueds de Biskra.	207
Figure 37	Localisation du point d'échantillonnage eau de surface (Oued) par rapport à l'axe routier, à l'agglomération et aux serres.	214
Figure 38	Les chromatogrammes du blanc et des 8 échantillons d'eau en mode Scan.	216

Liste des abréviations et acronymes

A : acaricide

AFNOR : association française de normalisation

AN: Ain Naga

Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement

D : Doucen

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane

DEA : Déséthyl-atrazine ou Deethylatrazine

DPVCT : Direction de la Protection des Végétaux et des Contrôles Techniques

EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique

EG : El Ghrous

Export. : Exportation

F : fongicide

Fig : Figure

GEPPA : Groupe D'étude Pour Les Problèmes De Pédologie Appliquée

h : heure

H : herbicide

I : insecticide

Import. : Importation

ISO : Organisation Internationale de Normalisation (International Standardization Organization)

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles

ITDAS : Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne

IUPAC: International Union of Pure and applied Chemistry

J : jour

l : litre

L : Lioua

LAV : lutte Anti-Vectorielle

LMR : limites maximales de résidus

LOD : limite de détection

LOQ : limite de quantification

MA : matière active

MO : matière organique

MZ : M'Ziraa

ng : nanogramme

OC : Organochlorés

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OP : Organophosphorés

Pest. : pesticide (s)

PNEC : Les concentrations prédites sans effet (Predicted No Effect Concentrations)

POPs : Polluants Organiques Persistants

ppb : « part per billion » ou « partie par milliard »

PPDB : Pesticides Properties DataBase

ppm : partie par millions

PPS : produits phytosanitaires

SA : Substance (s) active (s)

SO : Sidi Okba

T : tonne

Tab. : Tableau

TDS: Total Dissolved Salts (Sels Totaux Dissous)

UE : Union Européenne

µg : microgramme

USA: United States of America

US EPA: United States Environmental Protection Agency

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La conscience environnementale, par rapport à la question de la nocivité des substances chimiques, s'est progressivement développée durant les dernières décennies. Aujourd'hui elle se pose avec une certaine conviction en étroite relation avec la nécessité de prendre en compte la sécurité environnementale.

Le souci est de contrôler la qualité des différents compartiments environnementaux et de leurs niveaux de contamination par les pesticides, les engrais et les autres polluants. Par ailleurs, cet aspect est devenu une préoccupation internationale majeure avec/après la déclaration de Rio sur l'environnement et le développement.

Au cours des dernières décennies, et depuis les années 70, l'utilisation de pesticides à travers le monde a augmenté de façon spectaculaire. Les changements dans les pratiques agricoles et l'agriculture plus intensive seraient en relation directe avec l'émergence avec cette situation (Haarstad et al., 2012; Konstantinou et al., 2006). En effet, Schreinemachers & Tipraqsa (2012) ont montré, qu'à surface égale, une augmentation de 1% de la production agricole est associée à une augmentation de 1,8% de l'utilisation de pesticides. Pour Boulard et al. (2011), dans les tunnels¹ l'usage des pesticides aurait un impact de 3 à 6 fois plus élevée en termes environnementaux et sur la santé humaine et que dans les pays occidentaux, l'agriculture intensive est à l'origine d'une pollution de l'eau préoccupante dans beaucoup de pays dont les pays méditerranéens (OCDE, 2004 in Keddal & Yao N'dri, 2007; Bouwer 2000; Chowdary et al., 2005; Kundu et al., 2009 in Melo et al., 2012) où les pesticides utilisés dans la production agricole diffusent dans les eaux souterraines et de surface (Gonzalez et al., 2012; Kouzayha et al., 2012). En régions arides, les eaux souterraines sont nécessaires pour l'irrigation, (Antipolis, 2006) et le maintien de la qualité de ces eaux est un objectif essentiel.

En 2001, environ 800 matières actives pesticides étaient référencées dont 500 étaient utilisées en France et commercialisées par 8000 préparations (IFEN, 2003 in Calvet et al., 2005). En Algérie, plus de 480 substances actives sont enregistrées (Ayad-Mokhtari, 2012).

Selon Van der Werf (1996), l'impact des produits chimiques sur l'environnement dépendra (1) de la quantité de l'ingrédient actif appliqué et de son site d'application; (2) de son partitionnement aux différents compartiments environnementaux; (3) de son taux de

¹ Les tunnels « bas » comparés à des serres miniatures non chauffées, faciles à construire, à mettre en place et à déplacer et peu onéreux. La culture sous tunnels est généralement désignée sous le vocable de « semi-forçage ».

Introduction générale

dégradation dans chaque compartiment; Et (4) de sa toxicité pour les espèces présentes dans ces compartiments.

En Algérie, avec le lancement de la loi de l'APFA² (18 /83), les productions maraichères ont connu des extensions remarquables dans les différentes régions sahariennes. Deux différents modes sont pratiqués ; le premier mode de culture sous abri entrepris depuis plus de vingt ans a connu un développement remarquable, notamment pour la tomate, le poivron, le piment et le concombre. La culture en plein champs concerne les productions de tomate, pommes de terre, etc.

Les Ziban est l'une des régions du Sahara (porte du Désert), qui connaît depuis les 30 dernières années un développement agricole plus qu'important qui n'a pas seulement touché la phoeniculture. Cette région est en tête au niveau national de cette production mais se distingue dans le maraîchage sous une forme intensive qui est « la plasticulture » ou « la serriculture ». Cette pratique a débuté par les serres-tunnels en plastique (400m²) qui connaît actuellement un passage progressif vers l'usage des grandes serres (multichappelle³ et canarienne⁴) surtout dans la région Est des Ziban. Cette nouvelle agriculture, intensive par sa demande grandissante et ses besoins impératifs en intrants chimiques (pesticides et engrais) pourrait constituer à long termes une préoccupation vis-à-vis de la contamination des sols et des eaux et par rapport à la conformité⁵ des produits agricoles aux règles et aux référentiels nationaux et internationaux. En effet, ceci engage l'avenir du développement agricole et la durabilité de nos exportations agricoles. Dans cette optique, notre travail vient examiner tous les usages et les pratiques phytosanitaires ainsi que quelques-uns des impacts environnementaux d'un système de production agricole algérien choisi comme un des plus intensif en termes de consommation de pesticides qui est « La plasticulture » dans le premier bassin de production à l'échelle nationale : les Ziban (Biskra).

Il est aujourd'hui plus que nécessaire, de prendre de façon prioritaire et urgente et d'encourager des recherches basées sur l'autoévaluation des pratiques phytosanitaires à l'échelle locale, régionale et nationale. Réfléchir sur une démarche qualité basée sur l'efficacité des traitements, l'IPM (gestion intégrée des parasites) afin de sécuriser le consommateur et d'assurer un accès à la plupart des marchés. En effet, la production agricole

² La loi de 1983 sur l'Accession à la Propriété Foncière Agricole.

³ Grandes serres multi-tunnels dont le toit est en forme de plusieurs chapelles (selles).

⁴ Grandes serres d'origine espagnole de 1 à 6 ha.

⁵ La conformité aux Normes internationales représente un gage de confiance pour les consommateurs que les produits et services sont sûrs, fiables et de bonne qualité.

Introduction générale

de l'Algérie reste en deçà des capacités réelles de conquérir des marchés externes. Aujourd'hui, toutes les filières souffrent d'une faiblesse des exportations agricoles (Omari et al., 2012). Par exemple, en 2009, les agriculteurs algériens ont exporté 2% seulement de produits agricoles soit, 122 millions de dollars. Le déficit de la balance agricole représente 4 fois celui du Maroc et presque 20 fois celui de la Tunisie.

La stratégie nationale est basée sur la satisfaction des besoins incompressibles de développement et se positionne sur des marchés demandeurs de produits primeurs. Ces dernières années, le maraîchage contribue de manière significative à la satisfaction des besoins internes et se tourne timidement vers les exportations (ex, tomate sous serre de Biskra, Pomme de terre à El Oued). Ce nombre limité de produits agricoles exportés vers les pays européens pour une valeur de 42 millions de dollars US. Cependant, l'exportation reste difficile du fait des mesures et règles établies pour la protection des consommateurs. Sur quels leviers peut-on agir pour faire reconnaître nos produits agricoles sur les marchés internationaux et contribuer ainsi à leur exportation durable?

Comment introduire la normalisation dans toutes les productions agricoles, y compris celles destinées au marché intérieur, pour s'assurer que le consommateur algérien bénéficie de traçabilité et de respect des standards de qualité ?

Pour répondre à ces questions, il faut connaître avec exactitude l'état réel des pratiques agricoles et notamment des usages des phytosanitaires dans les systèmes de production. En effet, ces substances sont les premières incriminées pour avoir des effets toxiques sur l'humain et l'environnement, direct ou indirect, à court ou à long terme. Au travers des LMR (Limites Maximales de Résidus) les standards européens fixent des teneurs maximales en substances phytosanitaires des produits destinés à l'alimentation humaine admissibles pour un grand nombre de substances autorisées et interdites à l'usage agricole.

En nous inscrivant dans ces préoccupations internationales et ayant en vue leurs implications dans le contexte spécifiquement algérien et plus encore des régions arides et sahariennes, il nous est apparu pertinent de nous interroger sur le devenir des substances pesticides passées et actuelles en milieu serricole. Peu de connaissances sont accessibles sur ce thème.

Cette interrogation nous amène à entreprendre dans ce cadre de travail une recherche sur l'usage et le devenir des pesticides dans les cultures conduites sous serre (spécifiquement des solanacées), au Ziban.

Introduction générale

La première partie de ce document est consacrée à une synthèse bibliographique dédiée aux pesticides, aux techniques d'acquisition des données sur l'aspect contamination, par enquête et analytiques et au contexte de l'étude. Après la définition, les classifications, les exemples des différentes et importantes familles de pesticides, leur devenir dans l'environnement, la consommation mondiale et nationale, les plus importantes firmes productrices la législation nationale et internationale qui les gèrent.

La deuxième partie expose en trois chapitres, la nature des travaux de terrain et au laboratoire : Il s'agit :

1) d'une enquête sur les pratiques agricoles serricoles et leur relation aux pratiques phytosanitaires;

2) de la caractérisation physico-chimique des sols et des eaux pour déterminer leur propriétés qui témoignent initialement de leur qualité et qui interfèrent avec les molécules polluantes et expliquent parfois leur comportement et leur devenir. 3) de l'analyse de six échantillons de sol cultivés sous serres de tomate (sur deux profondeurs) et de huit échantillons d'eaux (de surface et souterraines) issus de sites situés dans les six plus importantes localités en terme de superficie serricole au Ziban Est et Ouest. Les mesures sont réalisées par une méthode analytique multi-résidus par chromatographie liquide et gazeuse et détection par spectrométrie de masse.

Nous comparons les résultats des teneurs en molécules actives avec les données d'enquête pour essayer d'expliquer leur origine, leur persistance, leur devenir et leurs risques potentiels sur l'environnement.

Partie I
Synthèse
bibliographique

Chapitre 1

Les pesticides

Introduction

Dans ce chapitre nous rappelons ce qui est nécessaire de retenir sur les pesticides. Nous décrirons par exemple les plus importantes familles chimiques, leurs contaminations des matrices environnementales (air, eau et sol) au niveau algérien et ailleurs dans le monde, leurs données commerciales récentes, pour conclure sur la réglementation qui encadre leurs usages.

1.1 Définition et composition des pesticides

Plusieurs termes et expressions définissent les produits phytosanitaires. Si « pesticides » est le terme le plus répandu, les expressions « produits anti-parasitaires à usages agricoles », « produits pour lutter contre les ennemis des cultures », « produits de protection des plantes », « produits agrisanitaires », « produits agropharmaceutiques », « produits phytopharmaceutiques » sont utilisées (Domange, 2005). Selon la Directive européenne 91/414/CEE du 15 juillet 1991 (relative à la mise sur le marché des produits phytosanitaires)(MAAPRAT, 2012), abrogée et remplacée par le règlement européen CE 541/2011, les pesticides ou « produits phytosanitaires » sont des préparations contenant une ou plusieurs *substances actives* (produit chimique toxique), ayant pour fonction de : Protéger les végétaux ou produits végétaux contre un organisme nuisible ; Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux ; Assurer la conservation des végétaux ; Détruire les végétaux ou parties de végétaux indésirables.

L'agence américaine pour la protection de l'environnement (US-EPA) définit les pesticides comme étant toute substance ou mélange de substances destinées à prévenir, détruire, repousser, réguler ou contrôler des parasites.

Cependant la composition d'une formulation pesticide ne se limite pas qu'à (aux) la (les) matière (s) active (s), elle comprend également (IUF/UITA/IUL, 2001):

- **Un solvant** qui est un produit chimique utilisé pour dissoudre la ou les Matière (s) active (s) (MA) pour les rendre liquides, il peut être lui-même toxique et a sa propre classification de risque, par exemple, le toluène et le xylène ;
- **Un surfactant** qui est l'abréviation d'agent actif de surface, appelée aussi humecteur, épandeur et collant dont le rôle est d'augmenter l'émulsion, la diffusion et les propriétés humectantes des formulations liquides pour permettre au pesticide de coller aux parasites ou de s'étendre de manière plus uniforme sur les feuilles et les surfaces de la plante ;

- *Un adjuvant* qui est un produit chimique ajouté à un pesticide pour en accroître l'efficacité, Il n'est actif qu'en présence des MA des pesticides ;
- *Un vecteur* qui est un solide inerte utilisé pour diluer la MA du pesticide pour en faciliter l'application ;
- *Des coloris et des marqueurs olfactifs* qui donnent au pesticide une odeur ou un goût désagréable pour réduire les risques d'ingestion du produit par accident ; Des colorants sont également utilisés pour enrober les semences, afin de faire la distinction entre les semences traitées et non traitées ; Les granules sont parfois colorés afin de les rendre visibles sur le sol pour pouvoir mieux contrôler et corriger les taux d'application et de propagation.

1.2 Histoire des pesticides

Dès l'antiquité, les hommes élaborent des techniques de lutte pour protéger, les graines, les semis et les produits récoltés. L'intervention manuelle contre les mauvaises herbes qui demeure toujours d'actualité était la technique la plus utilisée. Les Sumériens servaient du soufre contre les insectes et les mites, les Romains utilisaient l'huile comme chasse-moustique tandis que les Chinois employaient de l'arsénique et du mercure contre les tiques et puces. Avec la naissance de l'industrie chimique moderne apparaissent de nouvelles substances pour répondre aux besoins en herbicides, fongicides et insecticides (Tab.1).

Tableau 1 : Historique de l'évolution des trois plus grandes classes de pesticides d'avant 1900 à nos jours avec exemples de substances actives (d'après El Mrabet, 2008 modifié).

Catégories	Herbicides		Fongicides		Insecticides	
	Familles chimiques	Exemples IA	Familles chimiques	Exemples IA	Familles chimiques	Exemples IA
Avant 1900	Sulfate de cuivre Sulfate de fer		Soufre Sels de cuivre	Bouillie bordelaise	Nicotine Roténone Pyréthrines	
1900 - 1920	Acide sulfurique				Sels d'arsenic	
1920 - 1940	Colorants nitrés (Dinitrophénol)	Dinoséba				
1940 - 1950	Phytohormones de synthèse	2,4-D			Organochlorés, Organophosphorés	DTT, Endosulfan, Ethoprophos
1950 - 1960	Triazines, Urées substituées, Carbamates	Atrazine Chlortoluron Barbam	Dithiocarbamates Phthalimides	Zinéb	Carbamates	Methomyl
1960 - 1970	Bipyridyles, Dinitroanilines (Toluidines), Diphényls-éthers	Paraquat Trifluraline Bromofénoxime	Benzimidazoles	Benomyl		
1970 - 1980	Amino-phosphonates Aryloxyphenoxy- propionate	Glyphosate Clodinafop	Triazoles Dicarboximides Morpholines	Hexaconazole Iprodione Tridemorph	Pyréthroïdes Benzoylurées (régulateurs de croissance)	Deltaméthrine Diflubenzuron
1980 - 1990	Sulfonylurées	Amidosulfuron			Néonicotinoïde Avermectines	Imidacloprid Abamectine
1990 - 2000			Phénylpyrroles Strobilurines	Fludioxonil Azoxystrobin	Diacylhydrazine	Tebufenozide

Notes : IA : Ingrédients actifs.

1.3 Classification des pesticides

Il existe quatre façons de classer les pesticides :

- 1) Selon leurs caractéristiques chimiques;
- 2) Selon leurs cibles (organismes vivants visés⁶);
- 3) Selon leurs usages (Calvet et al., 2005);
- 4) Selon les risques (toxicologiques) qu'ils peuvent engendrer d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2009).

1.3.1 Classification chimique

Blanc-Lapierre (2012) dont la classification est reprise et adoptées par des chercheurs du CRSTRA-Biskra (Belhadi et al., 2016) décrit un millier de matières actives de pesticides, appartenant à une centaine de familles chimiques différentes, qui sont homologuées à travers le monde, et commercialisées dans près de 10 000 spécialités commerciales.

Selon cette classification chimique, il existe trois catégories de pesticides :

1.3.1.1 Les pesticides inorganiques

Ces pesticides sont peu nombreux mais certains d'entre eux comme le soufre et le cuivre sont utilisés en très grandes quantités. Leur emploi est apparu bien avant les débuts de la chimie organique de synthèse. L'essentiel de ces pesticides inorganiques sont des fongicides à base de soufre et de cuivre, une des formes des plus utilisée est la bouillie bordelaise employée pour traiter la vigne mais aussi les arbres fruitiers, la pomme de terre et de nombreuses cultures maraîchères.

1.3.1.2 Les pesticides organo-métalliques

Il s'agit essentiellement de substances fongicides constituées par un complexe métallique avec le zinc et le manganèse et un anion organique dithiocarbamate. Le mancozèbe (avec le zinc) et le manèbe (avec le manganèse) sont des exemples emblématiques de ce type de pesticides.

⁶ On parle de classification biologique

1.3.1.3 Les pesticides organiques

Les pesticides organiques sont nombreux et appartiennent à 80 familles (classes ou groupes) chimiques. Chaque famille se distingue par un ensemble de molécules dérivées d'un groupe d'atomes qui constituent une structure de base (ex. famille des triazines pour les molécules contenant un noyau triazinique, etc). Les appellations peuvent donc être différentes d'un ouvrage à l'autre. Le nombre de substances appartenant à une famille donnée est très variable et certaines ne sont représentées que par un seul pesticide.

1.3.2 Classification biologique

Cette classification repose sur les organismes vivants ciblés, on distingue plusieurs catégories de pesticides dont les principales sont les insecticides-acaricides, les fongicides et les herbicides (Calvet et al., 2005). Il y a aussi les rodenticides, les molluscicides, les nématocides, les régulateurs de croissance des plantes et d'autres (Aktar, Sengupta, & Chowdhury, 2009).

1.3.3 Classification selon usage

Il existe six catégories de pesticides classés selon la destination des traitements ; dans cette étude nous nous intéresseront principalement aux substances utilisées dans la protection des cultures c'est-à-dire celles utilisées en agriculture pour maintenir un bon état sanitaire des sols et des végétaux. Ce sont les substances les plus nombreuses, sous les termes d'insecticides-acaricide, de fongicides et d'herbicides. Par ailleurs, les pesticides sont utilisés dans la protection des bâtiments d'élevage, le traitement des locaux de stockage des produits végétaux, le traitement des zones non agricoles, le traitement des bâtiments d'habitation et le traitement des hommes et des animaux.

1.3.4 Classification selon risque toxicologique

Les pesticides appelés perturbateurs endocriniens, sont connus pour provoquer leurs effets néfastes en imitant ou en antagonisant les hormones naturelles dans le corps et on a postulé que l'exposition à faible dose et à long terme est de plus en plus liée à des effets sur la santé humaine, comme l'immunosuppression, les perturbations hormonales, l'intelligence diminuée, et des anomalies de la reproduction et le cancer (Brouwer et al., 1999; Crisp et al., 1998; Hurley et al., 1998 in Aktar et al., 2009).

En 1975, l'OMS a établi une classification des pesticides en fonction de leur toxicité avec comme critère la dose létale 50 (DL_{50})⁷(El Azzouzi, 2013). Selon l'Organisation mondiale de la santé (WHO, 2010) il y a 5 classes de pesticides établies selon leur risque pour les humains :

- **Classe Ia:** Pesticides extrêmement dangereux, la DL_{50} pour le rat (mg / kg de poids corporel) est <5 mg pour l'ingestion orale et <50 mg pour la voie cutanée. Exemples : éthoprophos, parathion-méthyl.
- **Classe Ib:** Pesticides très dangereux, la DL_{50} pour le rat est comprise entre 5 à 50 mg pour l'ingestion orale et 50-200 mg par voie cutanée. Exemples : azinphos-méthyl, méthomyl.
- **Classe II:** Pesticides modérément dangereux, la DL_{50} est comprise entre 50- 2000 mg pour l'intoxication par voie orale et de 200 à 20.000 mg pour l'intoxication par voie cutanée. Exemples : acéphate, amitraz, DDT.
- **Classe III:** Pesticides légèrement dangereux, la DL_{50} plus de 2000 mg pour l'intoxication par voie orale et cutanée. Exemples : atrazine, hexaconazole.
- **Classe U:** Pesticides susceptibles de présenter un risque aigu, la DL_{50} est supérieure à 5000 mg. Exemples : carbendazime, chlorothalonil, mancozeb, propamocarb.

1.4 Quelques familles de pesticides

Dans ce qui va suivre nous allons voir quelques-unes des principales familles (chimiques et biologiques de synthèse) de pesticides et des exemples de quelques substances actives qu'elles regroupent particulièrement celles qu'on aura à traiter dans la suite de ce travail. Ces familles sont les Avermectines, les Benzimidazoles, les Carbamates, les Chloronitriles, les Néonicotinoïdes, les Organochlorés, les Organophosphorés, les Pyréthriinoïdes de synthèse, les Triazines et les Triazoles.

1.4.1 Avermectines et abamectines

Les Avermectines (a : anti ; verm : ver ; ect : ectoparasite ; in : produit pharmaceutique) sont des lactones macrocycliques issu de la culture (laboratoire) de *Streptomyces avermitilis*. Les avermectines peuvent être utilisés en médecine humaine et vétérinaire (Derlon, 2006). Ces antiparasitaires sont mis sur le marché international

⁷ Une caractéristique de la toxicité aiguë ; c'est la quantité de pesticide ingérée nécessaire pour provoquer la mort de 50% des rats participant à une expérience en laboratoire.

en 1981 (Meissonnier, 1997 ; Boissay, 2007 in Bouaricha, 2013) et leurs utilisation en tant que pesticide (composés insecticides et anthelminthiques) en agriculture a vu le jour depuis 1985 (Boissay, 2007 in Bouaricha, 2013).

L'abamectine est un mélange d'avermectines contenant plus de 80% d'avermectine B1a et moins de 20% d'avermectine B1b (Kaspi & Parrella, 2005). Selon la BPDB⁸, L'abamectine agit, principalement par ingestion, comme un acaricide (ex. contre acariens phytophages) sélectif (envers les bourdons et les auxiliaires naturels), nématocide (contre nématodes dont *Meloidogyne spp*) et insecticide (ex. mineuses; cafards; fourmis; psylle du poirier) destiné à être utilisé dans une grande variété de cultures (ornementales; fruitières et légumières). L'abamectine est également utilisée comme substance vétérinaire. Plus de cinq milliards de produits commercialisés à base d'avermectine ont été vendus dans le monde (Shoop, 2002 in Zaouani, 2010).

1.4.2 Benzimidazoles

Découvert dans les années 50, le Benzimidazole est un composé organique aromatique hétérocyclique soluble dans l'eau et dans l'éthanol. Ce composé bicyclique consiste en l'association du benzène et de l'imidazole.

Le Benzimidazole et ses dérivés sont utilisés dans la synthèse organique et comme vermicides ou fongicides car ils inhibent l'action de certains micro-organismes. Les fongicides de la classe Benzimidazole comprennent le bénomyl, le carbendazime, le chlorfenazole, le cypendazole, le debacarb, le fuberidazole, le furophanate, le mecarbinzid, le rabenzazole, le thiabendazole, et le thiophanate (Hamdart, 2016). D'un autre côté, les Benzimidazoles sont d'une grande importance en médecine comme vermifuge, antiulcéreux et antihistaminique (Gurvinder, Maninderjit, & Mohan, 2013)

1.4.2.1 Le carbendazime

Le carbendazime est le nom commun du méthyle 2-benzimidazole carbamate (MBC), un fongicide Benzimidazole systémique⁹ actif avec une activité curative et protectrice. Son mode d'action est l'inhibition de la mitose du champignon et la division cellulaire. Le carbendazime est également le principal produit de

⁸ La Bio-Pesticides DataBase est une base de données relationnelle exhaustive sur l'identité chimique des pesticides, les données physico-chimiques, la santé humaine et les données écotoxicologiques.

⁹ Une substance systémique est capable de pénétrer dans une plante, d'y être véhiculée et d'exercer l'activité recherchée vis-à-vis des ravageurs visés.

dégradation de deux autres composés: le bénomyl et le thiophanate méthyle (Lewandowska & Walorczyk, 2010).

Selon la PPDB (2016), Le carbendazime est un fongicide qui est actuellement approuvé pour utilisation dans l'UE. Il a une faible solubilité aqueuse, est volatil et il est modérément mobile. Il est modérément persistant dans le sol et peut être très persistant dans l'eau sous certaines conditions. Le carbendazime a une faible toxicité pour les mammifères. Il est, cependant, signalé comme toxique pour la reproduction et le développement. Il est modérément toxique pour les abeilles et la plupart des organismes aquatiques. Il est hautement toxique pour les vers de terre, mais non toxique pour les oiseaux.

Le carbendazime, à effet biocide, est utilisé comme produits phytosanitaire en agriculture et dans des usages non agricoles (CIPR, 2010).

1.4.3 Carbamates

Le développement, dans les années 50, des insecticides Carbamates repose sur leur action anticholinestérasique sur le système nerveux semblable à celle des organophosphorés. Les Carbamates ont des activités de toxicité pour les mammifères et des persistances variées. Ce sont des composés instables qui se décomposent dans l'environnement dans des semaines ou mois. Les Carbamates sont couramment utilisés comme sprays de surface ou dans les appâts dans la lutte contre les parasites domestiques.

1.4.3.1 Le propamocarbe

Les substances propamocarbe (Propyl 3-(diméthylamino)propylcarbamate) et son sel propamocarbe chlorhydrate (Propyl 3-(diméthylamino)propylcarbamate hydrochloride) de formules chimiques : $C_9H_{20}N_2O_2$ et $C_9H_{21}ClN_2O_2$ respectivement, sont des fongicides systémiques¹⁰ découvert en fin des années 80, ils ont une activité spécifique contre une large gamme d'espèces Oomycètes (y compris *Pythium spp.*, *Peronospora spp.*, *Pseudoperonospora spp.*, *Phytophthora spp.* et *Bremia spp.*)(FAO/WHO, 2012). Le mildiou, la pourriture des racines, la fonte des semis, les moisissures, sont des exemples de maladies qu'il peut contrôler sur les cultures comme le gazon; les cultures ornementales; le tabac; les légumes; la pomme

¹⁰ Pénétrants, la substance active est redistribuée à l'intérieur et à l'extérieur de la plante traitée.

de terre; les fraises; les concombres; la tomate et la laitue. C'est un fongicide systémique à action préventive, absorbé par les racines et les feuilles. C'est aussi un inhibiteur de la synthèse des lipides.

1.4.4 Chloronitriles

Les fongicides à base de Chloronitrile, représentés ici par le chlorothalonil, ont un large spectre d'activité fongicide et sont considérés comme préventifs (Brecknridge & Stevens, 2007).

1.4.4.1 Le chlorothalonil

Le chlorothalonil (2,4,5,6-tetrachlorobenzene-1,3-dicarbonitrile) de formule chimique : $C_8Cl_4N_2$ un fongicide à large spectre signalé pour la première fois en 1964, est approuvé pour une utilisation dans l'UE et est largement utilisé pour contrôler un large éventail de maladies (tache pourpre; brûlure des feuilles; anthracnose; mildiou; botrytis ; chancre ;...) sur un large éventail de cultures (céréales; légumes, y compris les asperges, les haricots, le chou, le chou-fleur, le brocoli, les carottes, les oignons, le céleri, les cucurbitacées; les semences de maïs; les fruits, y compris les canneberges, le melon; les champignons; les cacahuètes; la pomme de terre). Également utilisé comme agent de conservation du bois. Il est non-systémique, à large spectre, à action foliaire avec des propriétés préventives. Il agit en empêchant la germination des spores et la motilité des zoospores. Il a une faible solubilité aqueuse, est volatile et ne serait pas lessivé vers les eaux souterraines. Il est légèrement mobile. Il tend à ne pas être persistant dans les systèmes de sol, mais peut être persistant dans l'eau. Il a une faible toxicité vis-à-vis des mammifères, mais est potentiellement bio-accumulable. Il est reconnu comme irritant. Le chlorothalonil est modérément toxique pour les oiseaux, les abeilles et les vers de terre, mais considéré comme plus toxique pour les organismes aquatiques (PPDB, 2016).

1.4.5 Néonicotinoïdes

Les Néonicotinoïdes (également connu sous l'appellation de chloronicotinyles) sont une nouvelle classe d'insecticides, analogues de la nicotine. Contrairement à la nicotine, ces insecticides ne sont pas toxiques pour les mammifères. À l'heure actuelle, il existe plusieurs insecticides importants dans cette classe (Yu, 2015).

Il s'agit d'une classe d'insecticides de synthèse à action systémique et translaminaire¹¹, qui sont parmi les insecticides les plus efficaces pour le contrôle des insectes suceurs tels que les pucerons, les aleurodes, les cicadelles, les thrips, certains micro lépidoptères et un certain nombre de coléoptères nuisibles (Elbert et al., 2008). Le plus important composé Néonicotinoïde et le premier lancé, était l'imidaclopride, par Bayer CropScience en 1991 (Elbert et al., 2008). Depuis, les principaux représentants de cette famille sont : la clothianidine, le nitempyram, le thiamethoxam, l'acétamipride, le thiaclopride et le dinotéfuran.

Les insecticides à base de Néonicotinoïdes sont les insecticides les plus vendus dans le monde et environ 60 % des Néonicotinoïdes utilisés mondialement servent à traiter des semences (Goulson, 2013). Aussi, les Néonicotinoïdes apparaissent clairement comme une famille d'insecticides méritant d'être prise en compte dans le contexte de la Lutte Antivectorielle¹² (LAV) (Anses, 2011).

1.4.5.1 L'imidaclopride

L'imidaclopride est un insecticide systémique par contact et ingestion pour le contrôle des insectes suceurs, notamment les pucerons, les cicadelles, les thrips, les aleurodes et les insectes du sol, les termites, et certaines espèces d'insectes piqueurs. Il a une DL₅₀ par voie orale chez le rat de 450 mg / kg (Yu, 2015).

Selon la PPDB, l'imidaclopride est approuvé dans l'UE avec certaines restrictions pour les cultures en fleurs. Il est très soluble, non volatile et persistant dans le sol. Il est modérément mobile. Il est faiblement bio-accumulable. Il est très toxique pour les oiseaux et les abeilles. Modérément toxique pour les mammifères et les vers de terre. Il est non toxique pour les poissons.

D'après Goulson (2013) : L'imidaclopride a été détecté dans plus de 89 % des échantillonnages d'eau de surface en Californie et 19 % excédaient les normes environnementales de 1,05 ppb. Aux Pays-Bas, des concentrations jusqu'à 200 ppb ont été mesurées. Le clothianidine, l'imidaclopride et le thiaméthoxame se dégradent rapidement dans l'eau par photolyse, ce qui peut rendre plus difficile

¹¹ Qui traverse régulièrement les feuilles. Le déplacement translaminaire est une migration rapide, des surfaces foliaires vers les tissus internes des couches de l'épiderme.

¹² La lutte antivectorielle comprend la lutte et la protection contre les arthropodes hématophages (insectes et acariens), vecteurs d'agents pathogènes à l'homme et aux vertébrés, et leur surveillance.

leur détection. De plus, les produits de dégradation comme l'imidaclopride oléfine ne sont pas analysés, même s'ils représentent un risque de toxicité.

Les résultats d'études de dissipation effectuées au Canada montrent que la demi-vie de l'imidaclopride varie de 266 à 457 jours (9 mois à plus d'un an) pour un sol servant à la culture de la pomme de terre (ARLA, 1997 in Giroux 2003). En plus d'être mobile dans l'environnement, le produit est donc relativement persistant.

1.4.6 Organochlorés

Les insecticides Organochlorés, les plus anciens pesticides de synthèse, sont des molécules qui contiennent au moins une liaison carbone – chlore.

Les contaminants organochlorés ou les hydrocarbures chlorés (CLHC) sont des dérivés organiques dans lesquels un ou plusieurs atomes d'hydrogène ont été remplacés par des atomes d'halogènes.

Les pesticides Organochlorés (POC ou OCPs) est l'appellation d'un groupe de pesticides constitués de benzène et de chlore (Pandit et al., 2005 in Bouraie et al., 2011). Ils sont divisés en trois groupes, à savoir: 1) les dichlorodiphényl éthane (par exemple, le DDT, DDD et DDE), 2) les cyclodiéniques (exemple: l'aldrine, le dieldrine, l'heptachlore et l'endosulfan), et 3) les chlorocyclohexanes (par exemple, les α , β , γ et δ -HCH). Ces POC sont classés en tant que groupe de polluants organiques persistants (POPs¹³), en raison de leurs effets toxiques, la plupart de ces composés ont été interdits d'utilisation (Zhou et al., 2006 in Bouraie et al., 2011) dont la Convention de Stockholm (Wong et al., 2005 in Wang et al., 2011) prévoit la destruction des stocks.

Certains organochlorés sont encore utilisés dans les pays à économie en développement et en transition, en partie pour le contrôle des vecteurs de maladies en santé publique et dans les programmes de santé animale (MacKenzie, 1994 in Benaboud et al., 2014).

Les insecticides organochlorés, utilisés avec succès dans la lutte contre un certain nombre de maladies, comme le paludisme et le typhus, ont été interdits ou restreints

¹³ Persistent Organic Pollutant.

après les années 1960 dans la plupart des pays technologiquement avancés (Aktar et al., 2009).

Les pesticides organochlorés comme le DDT, le lindane et l'endosulfan ont également été utilisés pour lutter contre les ectoparasites des animaux d'élevage et les animaux au Ghana (Ntow et al., 2006 in Tutu et al., 2011).

Les pesticides organochlorés peuvent être transportés vers des régions éloignées de leurs sources originales, telles que l'Arctique (Iwata et al., 1994; Halsall et al., 1998 in Kumar et al., 2011). Les POC persistent beaucoup plus longtemps dans les sols avec des fortes teneurs en matière organique que les sols à faible teneur en matière organique (Dimond et Owen, 1996 in Chen et al., 2005).

1.4.6.1 Le DDT

Le dichlorodiphényltrichloroéthane d'où le nom de DDT a été synthétisé en 1873, mais son activité insecticide n'a été découverte qu'en 1939 par un entomologiste Suisse, Dr. Paul Müller. L'utilisation du DDT contre les moustiques vecteur du paludisme et les poux qui transmettent le typhus parmi les civils et les troupes pendant la Seconde Guerre mondiale aurait sauvé des millions de vies. D'autres maladies contrôlées par le DDT comprennent le typhus, la maladie du sommeil et la fièvre jaune. Le DDT a été appliqué en pulvérisation sur les murs et d'autres surfaces des maisons contre les parasites domestiques tels que les mouches et les cafards, contre les parasites du bétail et comme agent antimite (US Department of Health Education and Welfare, 1978). Le brevet du DDT pour son usage insecticide a été accordé en 1942 mais sa production n'a débuté qu'en 1944 (Mawussi, 2008).

Le DDT a été efficace dans le contrôle de certains ravageurs qui attaquent la vigne et les vergers, les pépinières et les cultures sous serre, les cultures de plein champs, les légumes, des forêts et des arbres d'ombrage.

« Silent Spring » un livre écrit en 1962 par Rachel Carson, une scientifique américaine, contribue à l'interdiction du DDT en 1972. Elle décrit la mort soudaine d'oiseaux causée par la pulvérisation de la substance. Bien qu'interdit d'utilisation dans les États-Unis en 1972, et dans d'autres pays occidentaux, le DDT est encore un insecticide très utilisé en Inde et les pays africains pour lutter contre

le paludisme (Yu, 2015) et dans les pays en développement dans l'agriculture et pour le contrôle des vecteurs de maladies (Li 1999; Lietal 2007;. Wong et al., 2005 in Wang et al., 2011). Le DDT a été produit pour l'exportation et pour la production ultérieure de dicofol (autre type de pesticide encore utilisé en Chine) (Li et al., 2001 in Wang et al., 2007).

La dégradation du DDT dans le sol prend entre 4 et 40 ans (Affulet al., 2010 in Bellamine et al., 2012). Diamond et Owen in Chen et al. (2005) ont suggéré que la moitié du temps pour la disparition des résidus de DDT est de 20-30 ans alors que Crowe et al. (2002) in Mawussi, (2008) signalent une persistance de plus de 30 ans dans le sol. Une très faible solubilité dans l'eau, une faible pression de vapeur et une stabilité modérée à la lumière du soleil permet leur remanence (Yu, 2015).

Yu (2015) rapporte que le DDT a une DL₅₀ chez les rats de 250 mg / kg que ses analogues sont moins toxiques pour les mammifères et que la toxicité de ce groupe est faible par rapport à d'autres insecticides tels que les Organophosphorés et les Carbamates.

Ces composés subissent la réaction de déshydrochloration catalysée par des ions hydroxyles ou par l'enzyme DDT déshydrochlorinase (un glutathione S-transférase).

1.4.6.1.1 DDE et DDD

La découverte du DDT a conduit à la synthèse de plusieurs de ses analogues efficaces, tels que le Tetrachlorodiphenylethane (TDE) appelé aussi dichlorodiphényldichloroéthane ou DDD, méthoxychlore, dicofol et chlorobenzilate (Yu, 2015).

Le DDT de qualité technique contient principalement cinq isomères. Le p,p' isomère, compte pour environ 70% du poids total, il s'agit de la forme toxique du DDT. Plusieurs autres isomères représentent environ 30% du poids total; le plus abondant est o, p-DDT, d'environ 20%. Ces isomères sont de 1 / 10^e moins toxiques que le p, p' isomer.

Le DDT est métabolisé en DDE (DichloroDiphenyldichloroEthylene) par les microorganismes du sol dans des conditions d'aérobies alors qu'en conditions

anaérobiques, il est transformé en DDD (Heberer & Dünbier 1999, Chen et al., 2005).

Le DDE se trouve normalement dans l'environnement à la suite de la contamination ou de décomposition du DDT. Le DDE est jugé au moins aussi toxique que le DDT, et semble même avoir une stabilité plus forte encore dans le milieu naturel (GTZ, 1995 in Rouane 2007). Le rapport DDT / DDE a été utilisé comme estimation approximative de la période d'application du DDT (Tavares, Beretta, & Costa, 1999), plus ce rapport est grand, plus récente est la période d'apport du DDT.

Le p,p'-dichlorodiphenyldichloroéthylène (p,p'-DDE ou 4,4'-DDE) et le 1,1-dichloro-2,2-bis (p-chlorophényl) éthylène sont des synonymes pour désigner le DDE dont le nom attribué en 1977 était 1,1'-(2,2-dichloroethenylidene)bis(4-chloro)-benzene. (US Department of Health Education and Welfare, 1978).

Le DDD et le DDE peuvent durer dans le sol pendant un temps très long, potentiellement des centaines d'années (ATSDR., 2002 in Kihampa et al., 2010) ils adhèrent fortement aux sols et restent ainsi dans les couches de surface. Ces métabolites sont plus stables et persistent que le composé parent (Quensen et al., 1998; Yao et al., 2006 in Wang et al., 2007).

1.4.7 Organophosphorés

Les Organophosphorés sont une grande et très toxique classe d'insecticides. Ils sont un sous-produit de la recherche sur la guerre chimique dans le développement des gaz de combat neurotoxiques pendant la Seconde Guerre mondiale (sarin, soman, et le tabun). Ces composés sont tous des dérivés de l'acide phosphorique. Lorsque les atomes d'hydrogène de l'acide phosphorique sont remplacés par des radicaux organiques, tels que les groupes méthyle, éthyle ou phényle, on se réfère aux composés Organophosphorés (OPs). En outre, l'oxygène peut être remplacé par du soufre, du carbone ou de l'azote pour produire différents dérivés (Yu, 2015).

Les composés Organophosphorés (OPs) ont été synthétisés en quantités importantes au cours des années 1940 et le tétraéthylepyrophosphate a été développé comme un insecticide. Ensuite, ces pesticides synthétiques ont été introduits dans les années 60.

Après « The Food Quality Protection Act »¹⁴ (FQPA) de 1996, l'Agence américaine de Protection de l'Environnement (EPA) a classé quarante pesticides organophosphorés dans le groupe de priorité la plus élevée et a imposé des restrictions sévères sur l'utilisation de trois d'entre eux: le chlorpyrifos, l'azinphos-méthyl et le méthylparathion (Hileman 2000 in Jauregui et al., 2003).

1.4.7.1 L'azinphos méthyl

L'azinphos-méthyl [O,O-diméthyl-s-[(4-oxo-1,2,3-benzotriazine-3(4H)-yl)méthyl]]phosphorodithioate] (AZM) a été enregistré pour la première fois en 1959 par Mobay Chemical Corporation aux Etats-Unis. L'AZM sous ses différents noms commerciaux, (Gusathion M, Co-thion, Guthion, etc..). est un insecticide, acaricide et molluscicide organophosphoré à large spectre (US EPA, 1986a) in Lewis (2004). L'azinphos-méthyl a été utilisé sur une large variété de cultures; Cependant, les principales utilisations de l'azinphos-méthyl sont sur les arbres fruitiers (amandes, noix, pommes, pistaches, poires, prunes et pêches) ce qui constitue 96% de sa consommation au Etat Unis en 1999 (DPR, 2000a) in Lewis (2004). C'est l'un des OPs utilisés régulièrement dans les vergers et les vignobles. Il est appliqué principalement sur les feuilles des plantes cultivées, mais une fraction se retrouve dans le sol (Reinecke & Reinecke 2007b in Jordaan, Reinecke, and Reinecke, 2012). Le Département de la Réglementation des Pesticides (DPR) dans la « California Environmental Protection Agency » a placé, en 1988, l'azinphos-méthyl sur la liste de haute priorité pour l'évaluation des risques. Actuellement, cette substance active n'est pas approuvée d'usage selon la PPDB¹⁵ dans toute l'union européenne, elle est classée très dangereuse (Ib) et très toxique (I) par l'OMS et l'US EPA respectivement.

1.4.7.2 Le parathion-méthyl

Le méthyl parathion est un insecticide organophosphoré très utilisé aussi bien dans la lutte anti-acridienne que dans les cultures maraichères. Le méthyl parathion a été à l'origine, développé par la compagnie allemande Bayer. C'est un pesticide qui agit par ingestion. Le méthyl parathion est généralement appliqué en

¹⁴ La FQPA a modifié la Loi fédérale sur les insecticides, les fongicides et les rodenticides (FIFRA) et la Loi fédérale sur les médicaments et les cosmétiques (FFDCA) et a donc modifié fondamentalement la réglementation des pesticides par l'EPA.

¹⁵ Pesticide Properties DataBase

pulvérisation, principalement comme formulation émulsifiable de concentré. Les taux recommandés d'application sont 15- 25 g de substance active par 100 litres. Le méthyl parathion fait partie de la liste de la « sale douzaine¹⁶ », selon la Convention de Rotterdam, c'est-à-dire les contaminants organiques les plus répandus et les plus nocifs à l'environnement

Le méthyl parathion a une demi-vie dans l'eau de 175 jours et de 10 à 60 jours dans un sol. Le taux de dégradation augmente avec la température et l'exposition à la lumière du soleil. Cependant si de grandes concentrations atteignent le sol, la dégradation se produira seulement après quelques années.

1.4.8 Pyréthrinoïdes

Les Pyréthrinoïdes sont constitués du pyrèthre et de ses analogues de pyrèthre synthétiques appelés Pyréthriodes synthétiques. Le pyrèthre naturel est un extrait de solvant de fleurs séchées de *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Les ingrédients actifs de pyrèthre sont appelés pyréthrines.

Le pyrèthre naturel est un insecticide faiblement nocif (DL₅₀ orale chez le rat est de 1500 mg / kg) mais agit très rapidement sur les insectes causant la paralysie immédiate. Il est couramment formulé avec des agents synergiques parce que les insectes peuvent se remettre du pyrèthre seul. Le pyrèthre naturel est peu utile dans l'agriculture en raison de son coût et de son instabilité dans la lumière du soleil.

En revanche, les pyréthriodes synthétiques ont une activité insecticide exceptionnelle, et sont photostables. Ils sont utilisés dans l'agriculture, la sylviculture, et le contrôle des insectes de la santé publique. Les pyréthriodes peuvent être divisés en deux groupes, le type I et de type II (en fonction de leurs effets sur les neurones sensoriels des cafards).

1.4.8.1 La deltaméthrine

La deltaméthrine est un Pyréthriode de synthèse mis au point en 1974 et est utilisée principalement comme insecticide et répulsif pour les insectes ou en raison de ses propriétés neurotoxiques. La deltaméthrine est un insecticide non systémique à action rapide par contact et ingestion. Elle est modérément dangereuse et modérément

¹⁶ The dirty dozen (souvent traduits comme « les 12 salopards »).

toxique selon les classifications de l'OMS et de l'US EPA respectivement. Cependant, Dejoux (1988) in Thybaud (1990) indique que la deltaméthrine est le pyréthrianoïde entraînant les effets toxiques les plus marqués vis-à-vis de la faune aquatique. Ce dernier auteur déconseille l'utilisation répétée de deltaméthrine, même à de faibles doses, aux abords des écosystèmes aquatiques et a fortiori en traitements directs de ceux-ci.

1.4.9 Triazines

La première Triazine a été découverte en 1952 à J.R. Geigy, Ltd. en Suisse. Aujourd'hui, un ou plusieurs herbicides de type Triazine sont enregistrés dans plus de 100 pays dans le monde entier. Ils fournissent une couverture herbicide de large spectre contre les adventices dans une variété de cultures et de sites non cultivées (LeBaron, McFarland, & Burnside, 2008).

Les Triazines sont des herbicides organoazotés de formule brute $C_8H_{14}ClN_5$. Ils sont dits de « deuxième génération » car ils se dégradent plus rapidement que les Organochlorés. Cependant leurs produits de dégradation sont persistants. Les produits de dégradation des Triazines sont formés dans les sols, principalement sous l'action de microorganismes.

Ces herbicides non sélectifs sont des substances de synthèse, dont la commercialisation et l'usage sont interdits en France depuis 2002 et 2003 respectivement. Leur dégradation par photolyse est lente (335 jours) et leur biodégradation dans les eaux et les sédiments varient entre 28 et 134 j en milieu aérobique et 608 j en milieu anaérobique (Tissier et al., 2005 in Lachambre & Fisson 2007). On sait que les Triazines sont persistants dans l'eau et sont mobiles dans le sol (Tchounwou et al., 2000).

1.4.9.1 L'atrazine

L'atrazine est de loin la plus largement utilisée des Triazines et sa principale utilisation est pour la culture de maïs. L'une des raisons pour lesquelles les Triazines sont si importants dans le maïs et d'autres cultures à travers le monde est leur flexibilité d'application et leur capacité à être mélangés avec d'autres herbicides à large spectre pour le contrôle des mauvaises herbes.

La demi-vie de l'atrazine dans les sols est comprise entre 20 et 385 jours. L'atrazine a été le plus fréquemment détectée dans les eaux souterraines et a été détectée dans toutes les régions prises en compte dans l'étude de Shomar, Müller, and Yahya (2006) dans la bande de Gaza (Palestine). En Allemagne, les données de surveillance montrent que même 20 ans après l'interdiction de l'atrazine, les concentrations dans les eaux souterraines sont à un niveau constant sans diminution considérable (Vonberg et al., 2014).

1.4.9.1.1 déséthyl-atrazine (DEA)

L'atrazine se dégrade en déséthylatrazine (DEA) et en déisopropylatrazine (DIA), tous deux DIA et DEA se dégradent pour donner du diaminotriazine ou (DDA). Les trois métabolites conservent la molécule de chlore et sont appelés chlorotriazine.

La déséthylatrazine (DEA) et la déisopropylatrazine (DIA) sont les deux métabolites fréquents dans les eaux souterraines. La Déséthylatrazine (DEA) et la déisopropylatrazine (DIA) ont également été détectés dans des eaux de surface provenant de ruissellement à partir d'un sol limoneux avec une DEA présente à une concentration plus élevée (Mills and Thurman, 1994 in LeBaron et al., 2008). Dans les études menées par Gaynor et al. (1992, 1995) Au Sud-Ouest de l'Ontario (USA), la DEA a été trouvée dans les échantillons d'eaux de ruissellement de surface qui contiennent l'atrazine.

1.4.10 Triazoles

Les Triazoles sont une des sous familles (diazoles, tétrazoles et pentazoles) et composés (oxazoles, thiazoles) de la classe des Azoles (ou pyrroles). Ce sont des composés organiques à hétérocycle insaturé à cinq atomes, possédant un atome d'azote et quatre atomes de carbone. Le plus simple élément de cette famille est le pyrrole.

Les Triazoles sont des composés organiques cycliques comportant un cycle à 5 atomes, comportant deux double liaisons et 3 atomes d'azote et donc de formule brute $C_2H_3N_3$. Elles sont aromatiques et font partie des cycles excédentaires en électrons. Selon la position des atomes d'azote, on distingue les 1,2,3-triazoles (appelées V-triazoles) et les 1,2,4-triazoles (appelées S-triazoles).

Les Triazoles font partie d'un groupe de molécules fongicides appelé IDM (inhibiteurs de la déméthylation). Ils agissent en perturbant la biosynthèse des membranes cellulaires du champignon. Ils bénéficient d'un large spectre d'efficacité contre les maladies des céréales, notamment la septoriose du blé. Ils ont également des propriétés de régulateurs de croissance des plantes.

1.4.10.1 L'hexaconazole

L'hexaconazole de formule $C_{14}H_{17}C_{12}N_3O$, est un conazole (imidazole) fongicide utilisé pour contrôler à la fois les attaques sur les semences et les maladies transmises par le sol en particulier les *ascomycètes* et *basidiomycètes spp.* Il contrôle des maladies comme l'oïdium et les rouilles sur les cultures de vigne; de pommes; de poires; de bananes; de légumes et de céréales. Il a été introduit en 1986 et est actuellement interdit d'usage dans tous les pays européens. L'hexaconazole est connu pour être utilisé en Australie, préconisé d'usage en Algérie encore en 2010 sur la culture de tomate contre oïdium et Botrytis (ITCMI, 2010a). Sa solubilité dans l'eau est faible et il est persistant dans le sol.

1.4.10.2 Le difénoconazole

Le difénoconazole ($C_{19}H_{17}C_{12}N_3O_3$) est un fongicide de contact utilisé pour de nombreux fruits, légumes, céréales et autres cultures de plein champ. Bien qu'il soit potentiellement une molécule mobile, il est peu probable qu'il soit lessivé en raison de sa faible solubilité aqueuse. Il a cependant un potentiel pour le transport avec des particules liées. Il est légèrement volatile, persistant dans le sol et dans l'environnement aquatique. Il y a des préoccupations quant à son potentiel de bioaccumulation. Il est modérément toxique pour les humains, les mammifères, les oiseaux et la plupart des organismes aquatiques.

1.5 Les effets environnementaux des pesticides dans les différents compartiments.

La pollution environnementale par les pesticides est essentiellement liée à la pollution des eaux, à celle des sols, de l'air et à la contamination alimentaire, elle s'ajoute à l'exposition directe des agriculteurs et de leurs familles que nous ne traiterons pas dans ce travail.

1.5.1 Contamination et devenir des pesticides dans l'atmosphère

La pollution de l'air, quant à elle, est relative aux polluants rejetés dans l'atmosphère directement ou indirectement par les processus de combustion fixes (industries) ou mobiles (circulation automobile).

Lors d'un traitement, une certaine proportion de la substance active épandue diffuse directement dans l'atmosphère. Ce passage est important lors d'applications effectuées par hélicoptère ou par avion (en cas de traitement anti-acridien par exemple), mais peut se produire lors d'applications terrestres classiques.

Pour Poitiers et Tauché (région Poitou-Charentes-France), Kaczmaryk (2011) rapporte que l'évolution des concentrations et la nature des molécules détectées dans l'air sont le reflet des calendriers des traitements des surfaces agricoles et la nature des cultures environnantes. Il précise que les concentrations dans l'air augmentent dès le mois d'avril durant les traitements herbicides de printemps. De juin jusqu'à fin août, ce sont les concentrations de fongicides qui dominent. Aussi, En 2010, les molécules les plus abondantes dans l'air pour les céréales d'hiver sont le prosulfocarbe¹⁷ et le chlorothalonil, pour le maïs de l'acétochlore¹⁸ et du S-métolachlore¹⁹ et pour les oléagineux de la pendiméthaline²⁰.

Pendant l'épandage et suivant les conditions météorologiques et les modes d'applications, de 25 % à 75 % des produits phytosanitaires ne se déposent pas sur les aires traitées, ce taux pouvant même atteindre 90 % sur des sols humides (Van der Werf & Zimmer, 1998).

1.5.1.1 Processus de contamination de l'air par les pesticides

Les pesticides peuvent s'introduire dans l'atmosphère directement lors de l'application/traitement, donc par la « Dérive » ou le « spray-drift » mais aussi après leur dépôt en se volatilissant ou encore par transport particulaire lors des phénomènes d'érosion éolienne.

La dérive c'est la fraction de la pulvérisation (lors du traitement) qui n'atteint pas les sols ou les cultures (Kaczmaryk, 2011). Le transport des pesticides par dérive

¹⁷ Herbicide approuvé appartenant à la famille des Thiocarbamate.

¹⁸ Herbicide non approuvé appartenant à la famille des Chloroacetamide.

¹⁹ Herbicide approuvé appartenant à la famille des Chloroacetamide.

²⁰ Herbicide approuvé appartenant à la famille des Dinitroaniline.

contamine directement l'eau de surface ou les sols lorsque les pesticides se redéposent à la surface (Morissette & Martel, 2014). La volatilisation des pesticides peut être définie comme le déplacement des vapeurs de pesticides dans l'air (US-EPA <https://www.epa.gov/reducing-pesticide-drift/pesticide-volatilization>). La volatilisation représente une des causes principales de fuites de pesticides hors de la zone cible, notamment quand les traitements visent la surface du sol ou celle des végétaux (Periquet et al., 2004). L'érosion éolienne de particules de sol sur lequel a été appliqué un pesticide constitue une voie de transfert de ce composé vers l'atmosphère (Voltz et al., 2005).

1.5.1.2 Devenir des pesticides dans l'air

Une fois dans l'air, les pesticides peuvent être transportés, dégradés (lumière, réactions chimiques) ou déposés sur le sol.

1.5.1.2.1 Le Transport

On observe chaque année des phénomènes de transports dans l'air des pesticides épandus depuis les zones agricoles vers des zones plus éloignées, comme les centres urbains où se concentre la population. Les pesticides organochlorés par exemple sont sujets à un long transport atmosphérique, affectant ainsi les zones éloignées du point initial de la libération (UNECE, 1998 in Becker et al., 2012) leur présence dans l'environnement arctique en est une preuve. Selon Quaghebeur et al. (2004), dans l'atmosphère pour une vitesse du vent typique de 3 à 5 m.s⁻¹ les pesticides peuvent parcourir une distance de 250 à 500 km par jour (Lamprea-Maldonado, 2009).

1.5.1.2.2 La photodégradation

La photodégradation englobe les processus de photolyse et de phototransformation. En phase aqueuse dans les premiers millimètres superficiels de sol ou à la surface des végétaux, les pesticides peuvent être dégradés sous l'effet de la lumière. La photolyse peut-être directe ou indirecte selon que c'est l'énergie absorbée qui entraîne une transformation directe de la molécule ou l'énergie absorbée par les constituants du milieu (eau, sol). La photodégradation se produit dans l'eau mais existe également en phase adsorbée à la surface des végétaux ou du sol (Baran & Barras, 2008).

1.5.1.3 Des exemples de contamination de l'air par les pesticides

- **Au niveau algérien**

Les travaux de Moussaoui et al. (2012) montrent la présence de 6 pesticides dans l'atmosphère de deux sites d'échantillonnage situé au Nord algérien, dans une zone semi urbaine/industrielle (Baraki) et une zone rurale (Reghaia), il s'agit du : α -HCH, γ -HCH, fenitrothion, malathion, chlorpyrifos et lambda-cyhalothrine²¹. Les auteurs expliquent les concentrations plus élevées et fréquentes des pesticides organophosphorés (fenitrothion, malathion, chlorpyrifos) par la proximité de l'Institut National de la Protection des Végétaux²² (INPV), qui représente le premier stock de pesticides en Algérie (Moussaoui et al., 2012).

- **Au niveau du bassin Méditerranéen et dans le monde**

Au niveau méditerranéen, européen et mondial d'autres études ont été conduites sur la contamination de l'air par les pesticides, nous pouvons citer à titre d'exemple les travaux de: (Millet et al., 1997)(Houze, 2003)(Pflieger, 2009) en France ;(Tuncel, Öztas, & Erduran, 2008) en Turquie ; (Jaward et al., 2004) Concernant 22 pays européens ; (Lammel et al., 2007) en Chine ;(Harner et al., 2006) en Amérique du Nord et du Sud, Canada et Australie ; En Avril 1995, le US Geological Survey a entrepris une étude afin de déterminer la présence et la répartition temporelle de 49 pesticides et de métabolites de pesticides dans des échantillons d'air et de pluie à partir d'un milieu urbain et agricole dans le Mississippi (USA). Le pesticide avec la plus forte concentration dans la pluie sur les deux sites était le parathion méthyle en site agricole. Le parathion méthyle est présent dans le milieu urbain mais à des concentrations inférieures au diazinon et au chlorpyrifos. Après plus de deux décennies d'interdiction du p,p'-DDT aux États-Unis, le p, p'-DDE, un métabolite du p, p'-DDT, a été détecté dans tous les échantillons d'air recueillis sur le site agricole et dans plus de la moitié des échantillons d'air à partir du site urbain (Coupe et al., 2000).

1.5.2 Contamination et devenir des pesticides dans le sol

Aussi bien en milieu agricole qu'urbain, le sol est une cible de traitement et un réservoir de contamination des pesticides.

²¹ Insecticide approuvé de la famille des Pyréthriinoïdes.

²² Établissement public à caractère administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, sous tutelle du Ministère de l'Agriculture. Il a été créé en février 1975. Il représente l'acteur principal de la veille phytosanitaire nationale.

1.5.2.1 Des exemples de contaminations du sol par les pesticides

Les pesticides pénètrent dans le sol par l'intermédiaire de la dérive de pulvérisation pendant le traitement du feuillage, le lavage de feuillage traité, la libération à partir de granulés ou de semences traitées dans le sol. Certains pesticides tels que les fumigants et les nématicides sont appliqués directement dans le sol pour lutter contre les ravageurs et les maladies des plantes présents dans le sol.

- **Au niveau national**

Peu de données existent au niveau national sur l'état de la contamination des sols par les pesticides, nous pouvons citer les travaux de Benmahdi (2008), qui a étudié la rétention d'un herbicide (métribuzine²³) dans des sols agricoles algériens de différentes textures dans les régions de Batna, Oran et Ghardaïa. Ces sols avaient une faible capacité d'adsorption ce qui donnerait lieu, selon l'auteur, à un risque important de migration vers les nappes souterraines. De même, Oukali-Haouchine et al. (2013) en étudiant les facteurs influant la rétention de la métribuzine dans les sols algériens (la plaine de la Mitidja) arrive aux mêmes conclusions sur les risques de contamination.

- **Au niveau Méditerranéen et dans le monde**

La contamination des sols chez nos voisins au Maroc par exemple semblent mieux documentée. Quelques travaux à l'échelle de la Méditerranée (Nord et Sud) relèvent la contamination par différents pesticides des sols.

El Bakouri et al. (2007) détectent dans leur étude, dans trois échantillons de sol du périmètre du Loukkos (Nord Ouest Marocain) dédié à la production de fruits et légumes, la présence de l'endosulfan (pesticide organochloré) ainsi que ses métabolites.

El Bakouri et al. (2008) avaient mené des échantillons de sol prélevés dans l'horizon de surface (0-20 cm) provenant de 5 champs situés dans la province de Tanger (Nord du Maroc) et où les pesticides sont utilisés principalement dans la culture de pommes de terre, des tomates, des céréales, du chou, du chou-fleur, des carottes, de la laitue, de la betterave, etc. les auteurs avaient détecté la présence d'endosulfan, de l'Alpha HCH, du o,p'DDT et du p,p'DDE;

²³ Famille des Triazinones.

Une autre étude conduite au Maroc par Bellamine et al. (2012), dans la zone rurale de Kenitra (Plaine du Gharb) où se pratique une agriculture intensive, en 2008 et 2009 durant les mois de Janvier, Avril et Juillet concerne les concentrations et la distribution spatiotemporelle de certains pesticides organochlorés : aldrin, dieldrin, endrin, heptachlor, HCH isomers, DDT isomers/métabolites.

Nous avons constaté que la majorité des études de par le monde a concerné les molécules organochlorés interdites d'usage à cause assurément de leur caractère persistant ce qui les rend prioritaires (Tab.2).

Tableau 2 : Données sur la contamination du sol par les pesticides au niveau Méditerranéen et dans le monde.

Provenance	Pesticides (Concentrations)	Unité	Principales cultures	Climat	Références
Rive gauche de la vallée de la rivière Ebre, (Nord-Espagne)	Endrin (10.7), pp'-DDT (5.0-9.6), Dicofol (11.4)	(ng/g)	Mais, céréales d'hiver et tomate.	Sec	(Abraham et al., 2011).
Bassin de l'Ebre (Nord Est Espagne)	4,4'-DDE (0.39-58.17), 2,4'-DDT (1.69), 4,4'-DDT (0.55-16,26), Endosulfan-sulfate (3.66-9.08)	(µg/Kg)	Vigne, arbre fruitiers et maïs	Sec	(Hildebrandt, Lacorte, & Barceló, 2009).
Plaine Campanienne, sud de l'Italie	HCHs (0.03-17.3) et DDTs (0.08- 1231).	(ng/g)	Non indiqué	/	(Qu et al., 2016).
Shanghai, China	p,p'-DDT (24.52), p,p'-DDE(77.76) , p,p'-DDD (124.67), o,p'-DDT (21.01), DDTs (247.45), α -HCH (1.46), β -HCH (9.52), γ -HCH (4.15), δ -HCH (1.76), HCHs (10.38), Aldrin (6.62), Dieldrin (1.38), Endrin (4.32), Heptachlor (6.07), Heptachlor epoxide (4.78), trans-Chlordane (1.21), cis-Chlordane (1.41), trans-Nonachlor (1.28), CHLs (10.38), HCB (3.62), α -Endosulfan (1.77), β -Endosulfan (2.33).	Concentration Max (ng/g)	Riz, haricot, coton, légumes	/	(Jiang et al., 2009).

1.5.2.2 Devenir des pesticides dans le sol

Les produits phytosanitaires se répartissent dans le sol dans les 3 phases : aqueuse, gazeuse, ou particulaire. Sous forme liquide ou gazeuse, les produits phytosanitaires sont mobiles et sont soumis à des processus de transport par l'eau. Sous forme particulaire, ils peuvent séjourner très longtemps dans le sol mais se déplacent avec les particules d'érosion éolienne ou hydrique. Le transport, la persistance ou la dégradation des pesticides dans le sol dépendent de leurs propriétés chimiques, ainsi que des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

1.5.2.2.1 Phénomènes de rétention

- **Rétention biologique : l'absorption par les plantes**

Les phytosanitaires peuvent être absorbés par les plantes. Une partie ne sera pas métabolisée et, à la mort du végétal, si celui-ci est incorporé au sol, il sera restitué au milieu où il pourra être à nouveau métabolisé (Gouy, 1993 in Baran and Barras 2008). Cependant une dégradation peut intervenir dans la plante engendrant la création de produits moins toxiques.

- **Rétention physico-chimique : l'adsorption/désorption**

Les processus de sorption-désorption peuvent jouer un rôle important dans la compréhension du comportement et du devenir des substances organiques toxiques dans le sol (Sukul et al., 2008). La sorption (adsorption/désorption) est le processus de rétention le plus important entre le sol et les pesticides car elle limite la dégradation ainsi que le transport de ces derniers dans le sol. Les pesticides liés à la matière organique du sol ou aux particules d'argile sont moins mobiles, moins actifs, mais aussi moins accessibles à la dégradation microbienne et donc plus persistants.

La sorption rapide se produit généralement peu de temps après l'application des pesticides. Avec le temps, la sorption est beaucoup plus lente. Cependant, il a été observé en utilisant des molécules marquées radioactives que l'application répétée peut augmenter l'absorption et la formation de résidus liés par des liaisons non extractibles. Cette fraction comporte non seulement la molécule mère mais aussi ses produits de dégradation.

Les procédés d'adsorption peuvent présenter une réversibilité totale, partielle et/ou irréversible (Gevao, Semple, & Jones, 2000). Bien que les résidus liés sont considérés comme inactifs et non disponibles, il a été détecté qu'ils peuvent parfois se libérer. Le changement du pH du sol

ou l'addition d'engrais à base de nitrate peut induire une libération de ces résidus. Certains organismes à l'exemple des plantes et des vers de terre, peuvent absorber et remobiliser les vieux résidus étroitement liés (Gevao et al., 2000). Le processus inverse de l'adsorption, la désorption, n'est pas toujours totalement réversible.

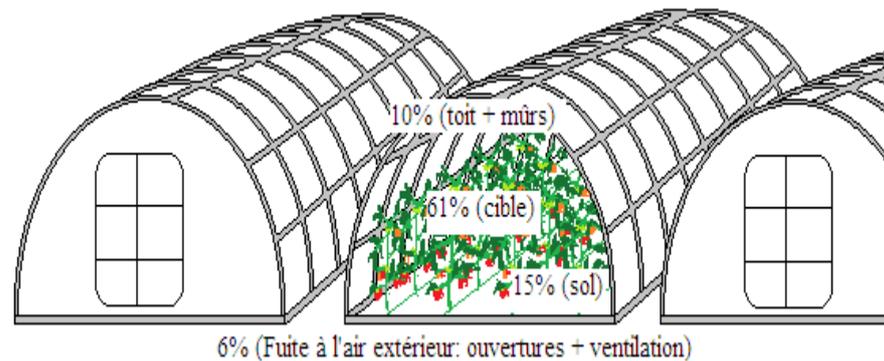


Figure1 : Les voies de dispersion d'un fongicide (pyrimethanil) appliqué dans une serre de tomate (selon Katsoulas et al., 2012, modifié)²⁴

1.5.2.2.1.1 Facteurs influant l'adsorption

Les différentes interactions sol/pesticide sont à la fois contrôlées par les propriétés de la molécule (adsorbat) et celles du milieu poreux (adsorbant).

A. Les constituants du sol

Les constituants du sol contrôlent l'adsorption qui est majoritairement le fait de la matière organique (MO) naturelle du sol et des minéraux argileux.

- **La matière organique du sol**

L'addition de la matière organique dans le sol peut améliorer la sorption et réduire les risques de pollution de l'eau. La quantité et la composition de la matière organique ont des répercussions importantes sur la sorption des pesticides (Oliver, Kookana, & Salama, 2003a). Pour les sols de faible teneur en MO, l'adsorption des pesticides est mise en relation avec la fraction minérale, prédominée par la fraction argileuse, et la

²⁴ On peut voir que la somme du pyriméthanol mesuré dans les différentes parties représente 92% de la quantité totale appliquée, Selon les auteurs, l'erreur-type des valeurs mesurées explique la majeure partie de cette différence.

nature de la MO (Guimont, 2005). Les sols riches en MO absorbent tous les pesticides non anioniques en grandes quantités (Barriuso et Calvet, 1992 in Calvet et al., 2005).

- **Les argiles**

Des études (Roy et Krapac 1994 in Oliver et al., 2003) ont montré que la teneur et le type d'argile deviennent seulement un facteur important dans la détermination du comportement de la sorption des pesticides, lorsque la teneur (%) en carbone organique (OC) des sols est <1%. Une augmentation du contenu en argile a pour effet d'abaisser la mobilité du pesticide ; la nature de l'argile et l'identité des cations majeurs de la solution du sol deviennent alors des facteurs importants (Spark & Swift 2002). Les minéraux argileux selon leur nature, leur charge électrique totale, la présence et la nature des cations échangeables à leur surface revêtent une certaine importance dans le cas d'interactions, notamment avec des pesticides cationiques (Guimont, 2005). Les pesticides cationiques sont très adsorbés par les sols contenant beaucoup de minéraux argileux (montmorillonite et vermiculite surtout) et de MO tandis que les pesticides anioniques sont très adsorbés par les sols riches en oxydes et hydroxydes métalliques (Barriuso et Calvet, 1992 in Calvet et al., 2005).

- **Le pH et la température du sol**

Frissel et Bolt (1962) ont montré que l'adsorption sur des argiles d'herbicides de structures moléculaires très différentes, augmentait quand le pH baissait. Au contraire, Mathava et Ligy (2006) in Marouane (2014) ont constaté que l'adsorption de l'endosulfan décroît sévèrement avec la diminution du pH (8 à 2).

En général, une augmentation de température conduit à une décroissance de l'adsorption (Guimont, 2005) car lorsque la température augmente, le pesticide devient plus soluble et par conséquent moins retenu par le sol (Marouane, 2014).

B. Les propriétés physico-chimiques de la molécule

D'après Bailey et White (1970) in Guimont (2005), les propriétés qui déterminent majoritairement le rôle de l'adsorbat dans les processus d'adsorption et de désorption des molécules organiques par les colloïdes de sol sont :

- (1) **La structure moléculaire** du pesticide car la structure du pesticide détermine indirectement son potentiel d'ionisation ; selon Calvet et al.,

(2005), les pesticides anioniques sont les moins adsorbés dans la plupart des sols alors qu'à l'inverse, les pesticides cationiques sont parmi ceux qui sont le plus adsorbés.

- (2) **Le pKa²⁵ de la molécule.** Il exprime le caractère acide ou basique du pesticide c'est-à-dire qu'il détermine son état d'ionisation à un pH donné. Des bases ne sont jamais ionisées dans les sols cultivés (pKa très petit, comme la simazine²⁶ et l'atrazine), d'autres au contraire, le sont totalement (pKa très grand, comme l'oryzalin²⁷ et le propamocarbe) (Calvet et al. 2005). Le pKa donne également une indication de l'importance de l'adsorption de la molécule ainsi que sa facilité à être désorbée à partir des systèmes colloïdaux.
- (3) **La solubilité du composé dans l'eau.** En général, les pesticides très solubles non-ioniques ont de faibles coefficients d'adsorption pour les sols, alors que le contraire est observé dans le cas des composants non-ioniques de faible solubilité (Yaron, 1989 in Guimont, 2005).
- (4) **La taille moléculaire de l'adsorbat.** Elle a un effet sur l'amplitude de l'adsorption et sur le pouvoir des composés organiques à être adsorbés notamment sur les surfaces internes des minéraux argileux fortement chargés (type vermiculite). Ainsi, un ion "large" couvrant plus d'un site d'échange électrostatique entraînerait une baisse de la capacité d'adsorption du minéral (Guimont, 2005).

C. Effet du temps : processus de vieillissement

Le terme de vieillissement est utilisé pour définir "l'augmentation du temps de contact pesticide/sol qui permet à la molécule de s'associer plus fortement aux composants du sol" jusqu'à n'être plus disponible pour le transport et/ou la dégradation. Le vieillissement peut résulter de la formation, avec le temps, de liaisons énergétiquement plus fortes du composé parent ou de ses métabolites avec les constituants du sol, ou de leur piégeage physique (séquestration) dans la fraction organique et/ou minérale du sol (Guimont, 2005).

²⁵ $pK_a = -\log K_a$, K_a étant la constante d'acidité, plus le pKa est petit, plus l'acide est fort.

²⁶ Herbicide non approuvé d'usage en Europe et appartenant à la famille des Triazines encore utilisé en Espagne.

²⁷ Herbicide appartenant à la famille des Dinitroanilines approuvé d'usage en France et en Espagne.

1.5.2.2.2 Dégradation des pesticides dans le sol

Les pesticides peuvent être transformés dans les sols par dégradations chimiques ou biologiques.

- **Dégradation chimique**

Les réactions chimiques qui affectent les pesticides dans le sol, sont en général des *hydrolyses*²⁸, des *oxydoréductions*²⁹ ou des réactions de *substitutions nucléophiles* par des groupements actifs présents sur la matière organique (Scheunert et al., 1993 in Scheyer, 2004). Les minéraux argileux peuvent inactiver les pesticides adsorbés en catalysant leur décomposition. Dans la plupart des cas, cette dégradation se produit par hydrolyse (Hance, 1970; Mortland, 1970; Theng, 1974 in Sánchez-Camazano & Sanchez-Martin, 1991).

- **Dégradation biologique**

La flore microbienne peut utiliser ces produits organiques comme source de carbone et donc dégrader les produits phytosanitaires. La biodégradation complète d'un pesticide correspond à l'élimination de la molécule avec production de métabolites. L'étape ultime est la minéralisation qui produit du dioxyde de carbone. La température et l'humidité sont des facteurs importants de l'activité microbienne et par conséquent de la dégradation des pesticides.

Tous les sols n'ont pas la même capacité de dégradation d'une molécule donnée. Ce potentiel est fonction de la composition physico-chimique du sol et de la composition de la microflore présente dans les sols.

- **Les microorganismes du sol**

Les microorganismes du sol sont capables de métaboliser et de dégrader un grand nombre de polluants et de pesticides. Mais, la dégradation partielle peut conduire à la formation de métabolites plus toxiques et persistants. Bien que la population microbienne du sol se caractérise par une adaptabilité aux changements des conditions environnementales, l'application de pesticides (en particulier à long terme) peut causer des changements irréversibles importants dans leur population ce qui peut avoir un impact significatif sur la fonction de l'écosystème terrestre entier (Ekfan & Eche, 2013). À titre d'exemple, le chlorothalonil, le mancozèbe, le manèbe ou le zinèbe sont

²⁸ Réaction chimique dans laquelle une liaison covalente est rompue par action d'une molécule d'eau.

²⁹ Réactions chimiques couplées par lesquelles une substance se réduit en prélevant des électrons à une autre qui s'oxyde.

toxiques pour les processus bactériens de nitrification et de dénitrification (Kinney, Mandernack, & Mosier, 2005); le DDT et le méthyl parathion interfèrent avec les bactéries symbiotiques (des légumineuses) du sol et perturbent significativement la fixation de N₂ (Fox et al., 2007). En conséquence, ils réduisent la fertilité des sols et augmentent la dépendance à l'égard des engrais azotés synthétiques.

- **Les invertébrés du sol**

Les vers de terre représentent la plus grande biomasse des invertébrés terrestres (> 80%) et jouent un rôle important dans l'écosystème du sol. Ils sont utilisés comme bioindicateurs de contamination du sol fournissant un avertissement précoce de la baisse de la qualité des sols. Ils servent d'organismes modèles dans les tests de toxicité. Ils sont caractérisés par une forte capacité à accumuler un grand nombre de polluants du sol dans leurs tissus, et sont utilisés pour l'étude du potentiel de bioaccumulation des substances chimiques.

Par ailleurs, une exposition chronique et intermittente au chlorpyrifos et à l'azinphos methyl affecte la biomasse des vers de terre et l'activité du cholinestérase de façon préjudiciable (Reinecke & Reinecke, 2007) ; Les vers de terre ont évité le sol avec le glyphosate, leur activité d'alimentation et leur viabilité ont été réduites (Schreck et al., 2008).

1.5.2.2.3 Transport des pesticides dans et à la surface du sol

La compréhension du transport des pesticides dans et à la surface du sol présente un intérêt essentiel pour l'évaluation des risques de la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines.

Ce transport se manifeste sous les voies de lessivage-lixiviation dans le sol et de ruissellement à sa surface. Il est conditionné par les propriétés physico- chimiques du pesticide (solubilité dans l'eau,...) et du sol (texture, structure, ...), les conditions topographiques (pente) et les conditions climatiques (température, mouvements de l'air, pluviosité ...) mais aussi les pratiques agricoles (travail du sol, mode et fréquence des traitements phytosanitaires, fertilisation,...).

A. Le ruissellement

Le ruissellement se produit lorsque l'intensité de l'apport d'eau dépasse les capacités de rétention et d'infiltration du sol. Lors des phénomènes pluvieux, les produits phytosanitaires, entraînés par le ruissellement en surface, provoquent la contamination des eaux de surface. La proportion de pesticides en solution dans les eaux de ruissellement varie entre 0,5 et 20 % des quantités épandues (Lecomte et al., 2001). L'état de la surface du sol agit sur le ruissellement. En effet, si la surface présente une « croûte », le ruissellement est beaucoup plus important que si la terre est meuble en surface. Il en est de même si le terrain est très en pente, ou s'il ne comporte pas de parcelles enherbées (Le Bissonnais et al., 1997 in Scheyer, 2004). La topographie, la nature du sol, la couverture végétale, la durée et l'intensité des précipitations sont des facteurs agissant fortement sur ce mode de transport (Jamet, 1979 in Marouane 2014).

B. Le lessivage – lixiviation

Le lessivage est le mode de transport vertical des intrants chimiques vers les horizons profonds du sol qui peuvent même atteindre la nappe phréatique. Ce type de transport est fortement influencé par la pluviométrie, l'irrigation (mode, quantité, fréquence) et la structure du sol. Les substances actives sont entraînées dans le sol par une infiltration des eaux s'y déplacent selon les modalités de la circulation de l'eau en milieu poreux (Landry, Dousset, & Andreux, 2006). Lorsque les molécules sont en solution, on parle généralement de lixiviation ; si les molécules sont associées à une phase solide, on parle de lessivage (Calvet et Charnay, 2002 in Domange 2005).

1.5.3 Contamination de l'eau par les pesticides

La matrice eau est la plus visée par les études et recherche de contamination, d'écotoxicologie et de toxicologie.

1.5.3.1 Des exemples de contamination des eaux

- **Au niveau algérien**

Peu de travaux existent en Algérie concernant la contamination des eaux par les pesticides. Parmi elles, l'étude de Moussaoui et al. (1999) in Kheddoum-Benadjal (2012) qui rapportent que dans plus de 30% des échantillons d'eau prélevés dans la région de Staoueli (Alger), la concentration de certaines molécules Organochlorées et Organophosphorés (diazinon, parathion), dépassent les valeurs préconisées par l'OMS. De même, Bounachada et al. (2011) in Kheddoum-Benadjal (2012), ont montré que des

pesticides sont détectés dans environ plus de 45% des puits échantillonnés dans la région de Sétif et dont plus de 57% sont attribués aux eaux des puits situés près des cultures de pomme de terre qui servent le plus souvent comme AEP ; 50% d'entre eux révèlent la présence de plusieurs pesticides à savoir le 2,4D³⁰ (herbicide) et les insecticides suivant : la dieldrine, le chlorpyrifos-méthyl, le diméthoate, le lindane et même le malathion et le DDT qui sont pourtant interdits. Aussi, l'étude de Lebik et Aït Amar (2013) sur les eaux de la nappe phréatique dans la commune de Mouzaïa qui se localise dans la plaine de la Mitidja (Nord Algérien). Deux pesticides sont détectés: du malathion (Organophosphoré) (concentrations allant jusqu'à 0.96 µg/l) et du DDT (en dessous du seuil de quantification). Les cultures sont dédiées aux légumes, aux agrumes et à l'arboriculture fruitière. L'aldrin, la simazine et le parathion avaient aussi été analysés mais non détectés (Lebik & Ait-amar, 2013) ;

- **Au niveau méditerranéen et dans le monde**

El Bakouri et al. (2007) avaient trouvé dans le périmètre du Loukkos (zone agricole), situé au Nord-Ouest du Maroc, dans 6 points de prélèvement d'eau souterraine destinée à la consommation, des concentrations en endosulfan (Organochloré) et ses métabolites. ;

Aussi, la plaine de Triffa, caractérisée par un climat semi-aride, située dans le Nord-Est du Maroc et non loin de la côte méditerranéenne, est une importante région agricole (agrumes, céréales, cultures industrielles, cultures fourragères) a été ciblée par l'étude de Fekkoul et al. (2013) , 15 puits ont été échantillonnés dans un aquifère libre dans une région à agriculture intensive, les 6 pesticides détectés sont : l'aldrin (0.02-0.03µg/l) , l'endosulfan sulfate (0.03µg/l), le lindane (0.03µg/l), le dieldrin (0.03µg/l), l'heptachlor (0.025 µg/l) et le DDT (0.03µg/l) ;

Le tableau 3 donne des exemples de détection de pesticides dans la matrice eau dans d'autres pays méditerranéen et ailleurs dans le monde:

³⁰ Herbicide approuvé (Alkylchlorophenoxy), régulateur de croissance des plantes et métabolite.

Tableau 3: Données sur la contamination des eaux par les pesticides au niveau Méditerranéen et ailleurs dans le monde.

Provenance	Concentrations en pesticides	Type de matrice et unité de mesure	Occupation des terres	Références
Marge gauche vallée de la rivière Ebro, (Nord-Espagne)	Déséthylatrazine (DEA) (0.04-0.09) ; terbuthylazine (0.06) ; pp'-DDT (0.09) ; atrazine et dicofol (Détectés, non quantifiés).	Eaux de surface (µg/l)	Maïs, céréales d'hiver et tomate.	(Abrahamo et al., 2011)
Bassin de la rivière Guadalquivir (Espagne)	Imazalil (8.05-5.56), carbendazim (-11.44), pyriproxyfen (3.04-), imidacloprid (6.14-19.20), chlorfenvinphos (26.48-2.01), chlorpyrifos (11.11-14.80), diazinon (23.75-456.72), diméthoate (69.26-30.60), ométhoate (11.71-2.23), buprofexin (9.28-), hexythiazox (1.94-1.40), atrazine (18.63-), deisopropylatrazine (30.18-43.40), déséthylatrazine (DEA) (97.21-), terbuthylazine (-/728), terbuthylazine deethyl (-/23.80), terbuthylazine-2 hydroxy (-/64.40), terbutryn (12.71-3.12), diuron (67.69-57.92).	Eau de surface (ng/l)	Oliviers, coton, betterave à sucre, riz, blé, maïs et tournesol. , légumes de plein champs, des arbres fruitiers et d'agrumes.	(Masiá, Campo, Vázquez-Roig, Blasco, & Picó, 2013)
	Imazalil (-/5.9), chlorpyrifos (2.5-15.9), diazinon (175.5-8.8), ethion (-/0.8), tebuconazole (-/12.7).	Sédiment (ng/g de poids sec)		
Sarno rivière et estuaire (Sud de l'Italie).	Diazinon (0.32 à 2.01) ; diméthoate, (1.77 à 6.23) ; malathion (1.75 à 5.14) ; chlorpyrifos (0.87 à 9.10) ; dichlorvos (0.75 à 1.54) ; fenitrothion (1.51 à 4.79) ; methidathion (0.50 à 2.31) ; tolclofos-méthyl (1.51 à 2.13) ; azinphos-méthyl . (0.51 à 1.12)	Eau dissoute filtrée (ng/l)	La principale activité agricole est basée sur la production de tomates.	(Montuori, Aurino, Nardone, Cirillo, & Triassi, 2015)
	La somme du chlorpyrifos + tolclofos-méthyl varie de 0.31 à 5.16.	Particules en suspension (ng/l)		
	La somme du chlorpyrifos + tolclofos-méthyl varie de 0.19 à 3.98.	Sédiments (ng/g)		
Evros (Nord-Est de la Grèce)	Atrazine (0.81-5.20), DEA (0.42-2.49), metolachlor (0.36-4.04)	Eau souterraine (µg/l)	Maïs, la betterave à sucre, le coton, la tomate, le tournesol	(Vryzas et al., 2012)

			et les céréales.	
Lac Karaboğaz (Nord de la Turquie)	Malathion (0.028-0.048), etofenprox (0.001-0.008), molinate (0.0013-0.084), oxamyl (0.005-0.081), propamocarb (0.004-0.037), tebufenozide (0.001-0.229), linuron (0.007-0.070), piperonyl butoxide (0.001-0.082).	Eau peu profonde (µg/l)	Riz, maïs, blé et légumes.	(Yurtkuran & Saygi, 2013)
	Malathion (-/-), etofenprox (9.50-385), molinate (3.90-292), oxamyl (8.24-54), propamocarb (5.40-97.4), tebufenozide (4.71-73), linuron (7.56-54.7), piperonyl butoxide (0.41-49.4).	Sédiments (µg/Kg)		
Vidarbha, Est de l'Etat du Maharashtra (Inde)	HCH (ND-0.39), endosulfan (ND-0.78), DDT (ND), dichlorovos (ND-0.09), chlorpyrifos (ND-0.25), phorate (ND), parathion-methyl (ND-0.09) .	Eau souterraine (µg/l)	Coton, piment, aubergine, tomate, blé, citron, orange, soja et le maïs	(Lari et al., 2014)
	HCH (ND-0.39), Endosulfan (ND-0.42), DDT (ND), dichlorovos (ND-0.25), chlorpyrifos (ND-0.44), phorate (ND-0.33), parathion-methyl (ND-0.42) .	Eau de surface (µg/l)		

1.5.3.2 Processus de transfert des pesticides impliqués dans la contamination de l'eau

Les pesticides peuvent contaminer l'eau par dérive lors de la pulvérisation de pesticides, par le ruissellement à partir de zone traitée, le lessivage à travers le sol. Dans certains cas, les pesticides sont appliqués directement sur la surface de l'eau, par exemple pour le contrôle des moustiques.

Pendant les années 90, l'atrazine et l'endosulfan ont été trouvés le plus souvent dans les eaux de surface aux Etats-Unis et en Australie en raison de leur utilisation généralisée. Des études plus récentes (Tab.3) ont également signalées la présence de pesticides dans les eaux de surface et des eaux souterraines à proximité de terres agricoles dans le monde entier. En général, les composés les plus fréquemment détectés sont les pesticides utilisés actuellement (herbicides : atrazine, simazine, alachlore, métolachlore et trifluraline ; insecticides : diazinon, parathion méthyle, et les composés organochlorés en raison de leur longue persistance : lindane, l'endosulfan, l'aldrine, et d'autres pesticides organochlorés).

1.6 Commerce des pesticides : Production-Import-Export

1.6.1 Dans le monde

Les dépenses de pesticides dans le monde représentaient plus de 35,8 milliards de US \$ en 2006 et plus de 39,4 milliards de US \$ en 2007 (Grube et al., 2011). Selon les mêmes auteurs, les dépenses en herbicides représentaient la plus grande partie des dépenses totales (environ 40%), suivie par les dépenses sur les insecticides (29%), les fongicides (22%) et les autres pesticides (9%). À l'échelle mondiale, durant les années 90, les Organophosphorés représentaient près de 40% du total des ventes d'insecticides en valeur, suivie des Carbamates (20,4%), des Pyréthroïdes (18,4%), et des Organochlorés (6,1%).

Il existe des centaines de firmes dédiées à la production de pesticides. Des Tops 10 et 20 des firmes productrices de pesticides au niveau mondial figurent en annexe 1.

Le Top10 a réalisé des ventes totales de 25, 200 milliards de US \$, 34,396 milliards US \$ et 51,165 milliards US \$ pour les années 2000, 2007 et 2013 respectivement.

D'après ces Top10, les firmes de l'industrie agrochimique Américaines, Européennes et Japonaises sont les leaders de cette industrie ; dans le Top20 (2013) figure un nombre important de firmes chinoises et une firme indienne. Selon Zhang et al.(2011) La Chine est devenue le plus grand producteur et exportateur de pesticides au monde.

L'Inde, la Chine, le Brésil, la Russie et d'autres pays de l'ex-bloc soviétique, sont également d'importants producteurs de pesticides. Les entreprises nationales produisent des pesticides, généralement hors brevet, y compris pour le marché d'exportation. Leur production comprend souvent des pesticides interdits ou strictement réglementés dans d'autres parties du monde (IUF/UITA/IUL, 2001).

L'Inde est actuellement le plus grand fabricant de pesticides de base parmi les pays d'Asie du Sud et d'Afrique, à l'exception du Japon (Lari et al., 2014).

1.6.2 En Algérie

Les données concernant le commerce des pesticides au niveau algérien ont été recueillies sur le site <http://faostat3.fao.org> (06/10/2016 à 21 :00) de la division des statistiques ou FAOSTAT. Il s'agit des données recueillies à partir de communiquées sur les publications officielles des pays ou des sites Web (officiels) ou des fichiers de commerce des pays ou encore des estimations de la FAO. Les données d'usage sont issues des données officielles communiquées sur les questionnaires de la FAO dans les pays. Cependant, la contrebande ou trafic parallèle « marché noir » de ces produits rend plus difficile l'opération de recensement.

1.6.2.1 Import-Export

La grande majorité des produits phytosanitaires à vocation agricole proviennent des importations ; le taux de la production nationale est très faible et de ce fait l'exportation l'est aussi.

- **Pesticides totaux**

Bien que les données de pesticides importées ne soient pas continues, la plupart des valeurs des importations de pesticides sont disponibles depuis un demi-siècle (de 1961 à 2014) et sont illustrées dans la figure 2:

L'importation de pesticides aujourd'hui est plus importante que leur exportation qui s'avère irrégulière et faible depuis 1991 due à la forte concurrence au niveau international. Un premier pic important des importations a été enregistré en 1987 année où a été promulguée la loi 87-17 (qu'on verra plus loin), un second pic en 2004 coïncidant avec une invasion acridienne importante de l'année 2004, Ayad-Mokhtari (2012) rapporte que pendant la même année, l'INPV a importé une quantité de 4 millions de litres d'un pyréthrianoïde : le lambda-cyhalotrine, dont une importante quantité a été utilisée pour la lutte contre le criquet pèlerin, une autre a été distribuée gratuitement aux agriculteurs et une autre partie a été cédée aux Pays du Sahel pour aider à la lutte anti acridienne ; Benaboud et al. (2014) constataient une augmentation dans les importations de pesticides

au Maroc durant la même année. Un troisième pic a été enregistré en 2008, pic que nous pensons lié à la signalisation pour la première fois en Algérie de *Tuta absoluta*³¹ Meyrick, mineuse de la tomate dans la région de Mostaganem (Guenoui, 2008) ce qui a suscité l'implication du secteur agricole et scientifique (Boualem et al., 2012).

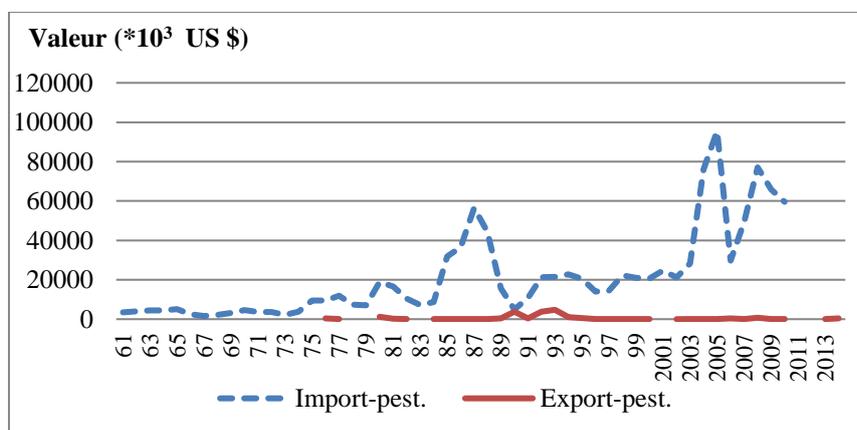


Figure 2 : Valeur des importations-exportations de pesticides (10³ US \$) de l'Algérie entre 1961 et 2014 (FAOSTAT, 2016).

• Origines des importations

Environ 400 produits phytosanitaires sont homologués d'usage en Algérie, dont une quarantaine de variétés sont largement utilisées par les agriculteurs (Siouane, 2012). L'Algérie importe la majorité des produits par l'intermédiaire de représentants commerciaux et importateurs agréés (ACI, Cassap, Agrichem, Agrimatco, Agroseed, Alliance chimie, Alphyt (mobydal), Astrachem, Green coop, Profert, SNC Doudah, Sofapro, Syngenta, Timac) des firmes internationales. D'après les index Algériens des produits phytosanitaires 2007 et 2015, il y a pas moins d'une centaine de firmes, dont les sièges sociaux sont localisés dans différents pays (Espagne, France, Allemagne, Suisse, USA, Arabie Saoudite, Jordanie, Inde, Chine, etc.) qui contribuent à l'approvisionnement du marché algérien en produits phytopharmaceutiques.

Les provenances des pesticides assurent l'authenticité des produits et de leur qualité. Il y a un nombre important de produits phytosanitaires génériques en provenance de firmes espagnoles, chinoises et indiennes (annexe 2). Dans ces deux derniers pays, les pesticides illégaux sont considérés comme constituant environ 30% et 20% du marché

³¹ Microlépidoptère de la famille des Gelichidae originaire d'Amérique latine, espèce invasive, redoutable ravageur qui s'attaque aux cultures de tomate sous serre pouvant causer parfois 100% de perte de cultures.

respectivement. La croissance rapide des capacités de fabrication de produits chimiques dans ces pays a rendu cela possible (ECPA, 2008).

Selon le même rapport, En Espagne, les pesticides contrefaits sont estimés de 8 à 10 % du marché. Les produits contrefaits sont particulièrement répandues dans les régions d'Almeria et Murcie (Sud de l'Espagne) dans les cultures de légumes cultivés principalement sous serres pour faire face à la mouche blanche³² et aux thrips³³.

1.6.2.2 Production

La production de pesticides en Algérie est estimée à 3745 Tonnes/an de produits en poudre, à $2617 \cdot 10^3$ Litres /an de produits liquide et à 13676 Boites/an d'insecticides dont le coût est estimé à $1912 \cdot 10^6$ DA, le coût de ses exportations est seulement de $7 \cdot 10^6$ DA contre un coût important d'importation $4418 \cdot 10^6$ DA ce dernier correspondant à 8927 Tonnes/an (MATE, 2006b). La production au niveau national est assurée par l'Algérienne des phytosanitaire ou Alphyt, créée en 2003, l'entreprise publique économique Alphyt, filiale du groupe industriel Asmidal, a pour vocation d'aider à l'accroissement quantitatif et qualitatif des rendements agricoles. Alphyt propose pas moins de 42 produits, des produits phytosanitaires pour l'hygiène publique (bactéricides-désinfectants, insecticides, redenticides³⁴), des produits phytosanitaires à usage agricole (insecticides, acridicides³⁵, fongicides, herbicides aux produits aérosols et aux pastilles insecticides à usage domestique.

La plupart des produits (Tab.4) acridicides et insecticides que Alphyt produit appartiennent à la famille des organophosphorés (chlorpyryphos-éthyl, fenitrothion, pyrimiphos - méthyl), aux Pyréthriinoïdes de synthèse (deltamethrine, lambda-cyhalothrine, cypermethrine), les fongicides sont généralement des produits à base de cuivre et de soufre et des Carbamates (thiram). Le DNOC ou 4,6-dinitro-ortho-cresol qui figure sur la liste des substances actives des produits phytopharmaceutiques interdites par l'Union Européenne depuis février 1999 en raison de sa forte toxicité a été interdit en Algérie en 2013 (annexe5).

³² Ou aleurodes Insectes ailés minuscules (adultes : 1 à 3 mm). Ils ont des pièces buccales piqueuses suceuses et appartiennent à la super famille des Aleyrodoidea.

³³ Insectes ailés minuscules (<2mm), ont des pièces buccales piqueuses suceuses et appartiennent à l'ordre des thysanoptera.

³⁴ Ou raticide, substance active ou une préparation ayant la propriété de tuer des rongeurs.

³⁵ Produits utilisés en lutte anti-acridienne ou contre les criquets ravageurs.

Tableau 4: Liste des produits phytosanitaires à usage agricole fabriqués par Alphyt.

Acridicides	Matières actives	Insecticides	Matières actives
Alphychlore 240 ULV	Chlorpyryphos-éthyl	Alphychlore 480 EC	Chlorpyryphos-éthyl
Alphychlore 480 EC	Chlorpyryphos-éthyl	Alphythrine 25 EC	Deltamethrine
Alphythrine 12.5 ULV	Deltamethrine	Asmidion 3% P.P	Fenitrothion
Alphythrine 25 EC	Deltamethrine	Beidazit	Huile paraffinique
Lamdacythrine 2% ULV	Labdacyhalothrine	Cyfer	Cypermethrine+ fenitrothion
Lamdacythrine 25 EC	Labdacyhalothrine	Cyper-AS25 EC	Cypermethrine
Fongicides	Matières actives	Dursban 2% P	Chlorpyryphos-éthyl
Oxycure 50 %	Oxychlorure de cuivre	Dursban 5% P	Chlorpyryphos-éthyl
Quinolate 15	Oxyquinoleate de cuivre	Lambda-Cythrine 25EC	Labdacyhalothrine
Sofral	Soufre micronise mouillable	Phosal 500	Pyrimiphos - méthyl
Soufre Fleur Extra-Légère	Soufre	Sefrazit	Huile Minérale paraffinique + DNOC
Thisan 80WP	Thirame	Vertin	Abamectine

Source : <http://alphyt.com/?p=produit&lang=fr> (consulté le 07/10/2016 à 21 :37)

- **Cas des pesticides interdits**

Beaucoup de pesticides interdits (ex. Organochlorés), retirés ou dont l'utilisation a été strictement réglementée des marchés des pays développés (Europe et Amérique du Nord) sont encore produits et vendus dans les marchés des pays en développement notamment en Afrique, que ce soit par des sociétés nationales ou par certaines multinationales agissant par l'intermédiaire de filiales ou de co-entreprises (Szmedra, 1994 in Benaboud et al., 2014). Ceux-ci comprennent le DDT et d'autres insecticides Organochlorés persistants (OC), qui représentent environ 15% de la valeur des ventes d'insecticides dans les régions hors Etats-Unis, Europe de l'Ouest et le Japon (Mackenzie, 1994 in Benaboud et al., 2014). Les plus vieux et plus toxiques insecticides Organophosphorés ainsi que les herbicides ont également des ventes très importantes dans le Tiers Monde (par exemple, l'alachlore, l'aldicarbe, le bénomyl, le captane, le carbofuran, le chlordane, le cyanazine, le diméthoate, l'endosulfan, le lindane, le monocrotophos, le paraquat, le parathion, le toxaphène, le zinèbe, le carbaryl, l'atrazine, le 2,4-D, le dichlorovos, le phorate, et bien d'autres) (Benaboud et al., 2014).

1.7 Utilisation/consommation des pesticides

1.7.1 Consommation mondiale

Le Top10 des pays les plus consommateurs de pesticides au niveau mondial figure dans le tableau 5. La moitié des pays qui figurent dans le Top10 consommateurs de pesticides (en gras dans le tableau), détiennent également les plus importantes firmes de l'agrochimie (annexe 1).

La Chine est de loin en tête du classement consommateur de pesticides avec 1806 millions de Kg ($1806 \cdot 10^3$ Tonne), suivi de la Thaïlande ($87 \cdot 10^3$ T), du Japon ($52 \cdot 10^3$ T) et de l'Inde ($40 \cdot 10^3$ T) côté asiatique. Les Etats Unis ($386 \cdot 10^3$ T), l'Argentine ($265 \cdot 10^3$ T), le Brésil ($76 \cdot 10^3$ T) et le Canada ($54 \cdot 10^3$ T) sont les plus importants consommateurs côté du continent américain. Tandis qu'en Europe les pays en tête de la consommation sont l'Italie et la France avec $63 \cdot 10^3$ T et $62 \cdot 10^3$ T respectivement.

L'utilisation des pesticides en Afrique est la plus faible de tous les continents en raison de la pauvreté, de l'instabilité, des pluies peu fiables et des sols indifférents qui ont empêché la petite agriculture de se moderniser dans une grande partie de la région. Cependant, il existe des zones d'utilisation intensive des pesticides en Afrique du Nord, par exemple dans les régions cotonnières du Soudan. Aussi, les grandes fermes

commerciales et plantations produisant du café et d'autres cultures d'exportation en Afrique du Sud (Benaboud et al., 2014).

Tableau 5: Top10 des pays consommateurs de pesticides selon la consommation annuelle (Millions de Kg) et consommation algérienne.

Rang	Pays	Consommation annuelle de pesticides	Rang	Pays	Consommation annuelle de pesticides
1	Chine	1 806	6	Italie	63
2	USA	386	7	France	62
3	Argentine	265	8	Canada	54
4	Thaïlande	87	9	Japan	52
5	Brésil	76	10	Inde	40
Sans classement				Algérie	6-10

Source : <http://www.worldatlas.com> page modifiée le 19 Août, 2016, consultée le 07 Octobre 2016, 18 :30.

1.7.2 Consommation algérienne

D'après Moussaoui et al. (2001), la quantité annuelle de pesticides utilisée en Algérie est comprise entre 6 000 à 10 000 T. D'après le tableau 5, cette quantité est six à dix fois moins importante que la consommation française. Elle est également moins importante que celle du Maroc atteignant 12 000 T en 2004 selon Benaboud et al. (2014). Cependant, en 2013, selon le site de la FAOSTAT (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>), l'usage des pesticides totaux est passé à 25841 T d'ingrédients actifs dont les régulateurs de croissance des plantes représentent 22 000 T (85%) alors que les herbicides, les insecticides et les fongicides-bactéricides représentent respectivement 886 T (3%), 927 T (4%) et 2028 T (8%) d'ingrédients actifs.

Aussi, selon la division des statistique de la FAO (FAO, 2013) entre 2005 et 2009, la quantité de pesticides utilisée en Algérie à l'hectare de terre arable est comprise entre 0.21 et moins 1 Kg, plus importante donc que la dose moyenne africaine qui était de 0.13 kg/ha selon Moussaoui et al. (2001) mais moins importante que celle du Maroc, cette dernière quantité étant comprise entre 1 et moins 2.4 Kg/ha (Fig.3) pourtant Dinham, (1994, 1993); Szmedra, (1994); WRI, (1994); PAN, (1989) in Benaboud et al.

(2014) rapportent que le Maroc est parmi les plus intensifs utilisateurs de pesticides avec 9.9 Kg/ha. Il est important de souligner que la notion de « terre arable » est un facteur important de confusion dans ces comparaisons internationales puisque le ratio terres arables/terres cultivées peut varier considérablement d'un pays à l'autre. Ainsi, la comparaison pays arides et pays tempérées et tropicaux est inopérente. Enfin, une comparaison plus logique devrait s'établir en kg de traitements/kg de produits.

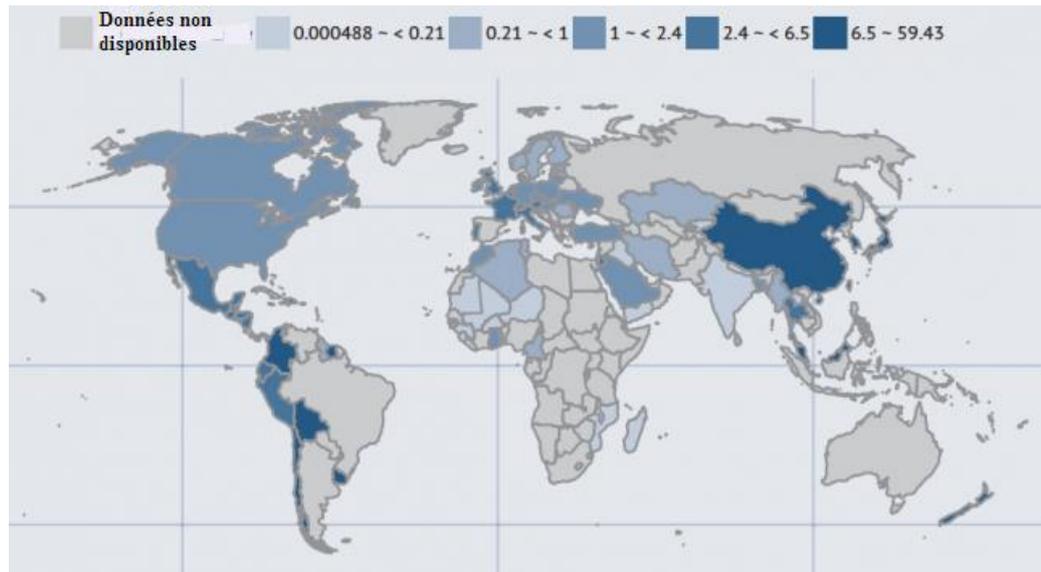


Figure 3 : Usage de Pesticides par (kg / ha) de terres arables, entre 2005-2009 - FAO (2013).

Les quantités utilisées en Algérie selon catégories sont affichées à la figure 4, les données par famille chimique ne sont pas toujours disponibles, elles sont surtout regroupées par types d'usages (insecticides, herbicides, fongicides,...) et couvrent une période de 23 ans (entre 1990 et 2013).

Nous avons remarqué que les années 90 ont été marquées par un usage plus important de pesticides (toutes catégories confondues) que les années 2000, cela n'est pas seulement dû à un raisonnement d'usage mais aussi à l'introduction sur le marché de nouvelles formulations commerciales aux doses plus faibles à l'unité de surface ce qui n'est en aucun cas un synonyme de moindre impact environnemental.

Nous avons remarqué aussi des pics d'usage insecticides-fongicides en 1991 et 1995 et surtout insecticides en 2004, année de la dernière grande invasion acridienne survenue en Algérie.

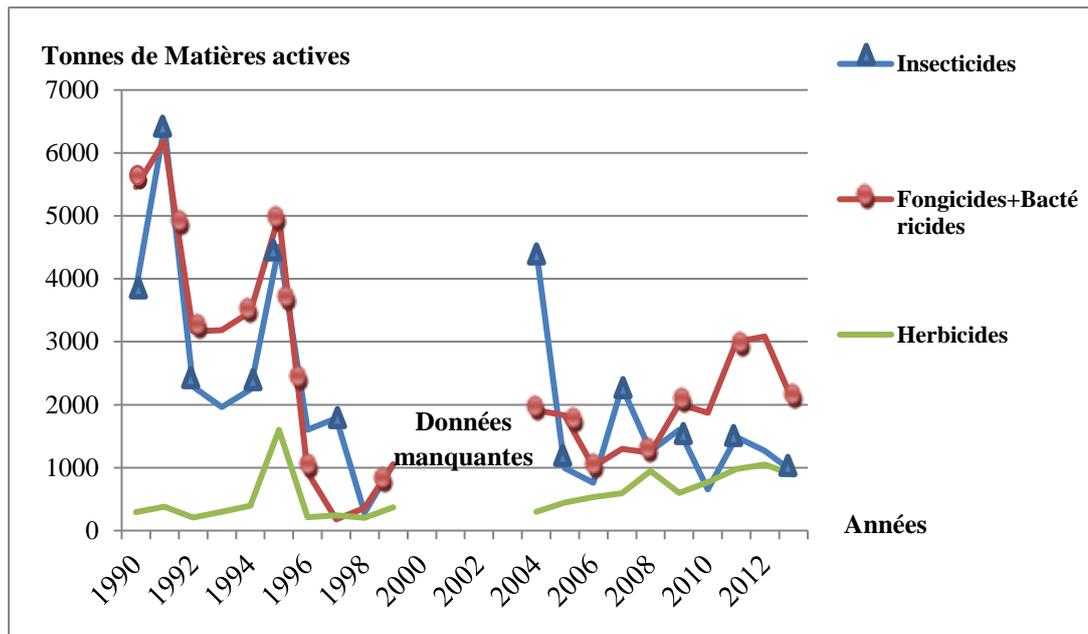


Figure 4: Evolution des quantités de pesticides utilisées en Algérie par catégorie entre 1990 et 2013 (Etablie à partir des données de la FAOSTAT).

- **Inventaire et stock des pesticides périmés**

Selon l'INPV in Moussaoui et al. (2001), le stock de pesticides périmés était constitué de 392 et 432 spécialités homologuées en 1997 et 1998 respectivement.

L'inventaire réalisé en 2003 a comptabilisé un total de 1731 tonnes de produits toutes natures confondues (solides et liquides, insecticides, fongicides, nématicides, herbicides, etc.) dont 197,3 tonnes entrent dans la catégorie des POP's parmi lesquels 191 tonnes sont constitués par le DDT (96,8%) localisé principalement (180 tonnes) dans la Wilaya de Mostaganem (Nord-Ouest algérien) (MATE, 2006a).

1.8 Quelques risques liés à l'exposition aux pesticides

L'exposition aux pesticides est un problème majeur de santé publique longtemps ignoré, qui concerne l'ensemble de la population : les professionnels, et notamment les agriculteurs ; les particuliers qui utilisent ces composés à la maison ou dans le jardin ainsi que le consommateur exposé via l'alimentation (Gamet-Payrastré, 2011).

1.8.1 Effet des pesticides sur la santé

- **Intoxications aiguës**

Les effets aigus liés à une intoxication par les pesticides se manifestent immédiatement ou dans les quelques heures qui suivent une exposition importante.

Les 3 classes de produits, peuvent produire des troubles hépatodigestifs. Cependant, la catégorie des insecticides-acaricides provoque des troubles neuromusculaires et cutanés; les fongicides déclenchent des troubles cutanés et neurosensoriels au niveau de la vision. Quant aux herbicides, ils déclenchent des troubles cutanés et neuromusculaires (Batsch, 2011) ;

- **Intoxications chroniques**

L'intoxication chronique survient après des expositions répétées à faibles doses de pesticides. Le délai avant l'apparition des symptômes peut être parfois très long, dans certains cas il s'agit de plusieurs dizaines d'années. Les principales pathologies suspectées d'expositions chroniques sont les cancers, les troubles neurodégénératifs (maladie de Parkinson), et les troubles de la fertilité ou de la reproduction.

- **Exposition aux pesticides**

Nous avons plusieurs voies d'exposition aux pesticides (ingestion volontaire ou non : mains souillées, inhalation, contact cutané) et deux types d'exposition (Batsch, 2011) : i) L'exposition primaire concerne les personnes manipulant directement les produits, au moment de la préparation, de l'application, du nettoyage des appareils, de la vidange des cuves. Il s'agit pour la plupart des agriculteurs et professionnels utilisant ces produits, mais aussi des particuliers pour un usage domestique. ii) L'exposition secondaire qui concerne l'ensemble de la population, par l'exposition aux résidus découlant de l'utilisation de pesticides, au travers de l'alimentation et de l'environnement. Nous rappelons que nous ne traitons pas ce volet dans la présente étude.

1.9 La réglementation, les conventions et les normes des pesticides

Cette section comprend la législation, les conventions qui traitent des pesticides et les normes de résidus de ces derniers dans les différentes matrices environnementales.

Parce que les pesticides sont des substances chimiques toxiques, et donc dangereuses, la loi détermine à leur sujet des procédures d'approbation, enregistrement, classement, étiquetage, emballage, fabrication, formulation, importation, exportation, commercialisation, publicité, vente, fourniture, transport, stockage, disponibilité, utilisation et destruction. La plupart des pays se sont dotés d'une législation sur l'enregistrement et le contrôle des pesticides, cette dernière varie d'un pays à l'autre.

1.9.1 Législation Algérienne

En Algérie, ce contrôle a connu une évolution dans le temps. La promulgation de la **loi n° 87- 17 du 01.08.1987** relative à la protection phytosanitaire a permis d'édicter les

mesures relatives à la fabrication, l'étiquetage, l'entreposage, la distribution, la commercialisation et l'utilisation des produits phytosanitaires à usage agricole. Au terme de la loi, aucun produit phytosanitaire ne peut être commercialisé, importé ou fabriqué s'il n'a pas fait l'objet d'une homologation.

Le décret exécutif n° 95-405 du 02 Décembre 1995 traite des conditions d'homologation, de fabrication, de commercialisation, d'utilisation des pesticides et instaure la commission chargée d'étudier les demandes d'homologation et de fabrication des produits phytosanitaires. Le Décret exécutif n° 99-156 du 20 juillet 1999 modifiant et complétant le précédent, règle les conditions de l'importation et de la commercialisation des produits phytosanitaires à usage agricole. L'Arrêté de mars 2000 définit le contenu des mentions et indications d'emballage des produits phytosanitaires à usage agricole. Le Décret exécutif n° 10 - 69 du 31 janvier 2010 fixe les mesures applicables lors de l'importation et l'exportation des produits phytosanitaires à usage agricole³⁶.

Le Plan National des Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES) (2003-2013) règle la destruction des déchets contaminés par les PCB³⁷ et des pesticides périmés. La fabrication, l'importation et l'utilisation de ces substances étant prohibées, sont des déchets au sens de la loi 01/19 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

1.9.2 Conventions

L'Algérie a ratifié les Conventions de Bâle et de Stockholm. Ces Conventions traitent de la gestion des produits chimiques et des pesticides pendant tout leur cycle de vie. L'Algérie n'a pas, à ce jour, encore ratifié la convention de Rotterdam.

1.9.2.1 Convention de Bâle

La convention de Bâle est entrée en vigueur le 05/05/1992. Les Parties ont des obligations spécifiques d'échange d'informations. Cela inclut les notifications de

³⁶ Pour plus de détails sur les décrets, consulter l'index phytosanitaire des produits phytosanitaire 2015 : http://www.minagri.dz/pdf/Dpvct/INDEX_PRODUIITS_PHYTO_2015.pdf.

³⁷ Polychlorobiphényles, utilisés principalement comme fluides diélectriques, dans les transformateurs, les condensateurs et certains radiateurs ou autres équipements électriques. Ils ont une longue persistance dans l'environnement et peuvent être transportés sur de grandes distances dans l'environnement. Très peu biodégradables qui s'accumulent dans la chaîne alimentaire.

définitions nationales des "déchets dangereux", élargissant ainsi le champ d'application de la Convention. L'Algérie a ratifié et appliqué cette convention le 14/12/1998³⁸.

1.9.2.2 Convention de Stockholm

La Convention de Stockholm est un traité international qui a pour objectif d'éliminer ou de réduire les 12 POPs, appelés the « dirty dozen » (UTZ Certified, 2014).

Elle a été adoptée le 22 mai 2001 à Stockholm, en Suède, elle est entrée en vigueur le 17 mai 2004. Elle compte aujourd'hui 152 pays signataires. L'Algérie a signé la convention de stockholm en date du 05/09/2001, l'a ratifié et appliqué en date du 21/12/2006³⁹.

1.9.2.3 Convention de Rotterdam

La Convention de Rotterdam est un traité international destiné à donner aux pays le droit de refuser l'importation des toxines extrêmement dangereuses répertoriées par PIC⁴⁰ de l'UNEP⁴¹. Elle met fin au dépôt de pesticides obsolètes ou prohibés dans les pays en voie de développement (UTZ Certified, 2014).

En septembre 2006, il y avait 110 Parties à la Convention. Actuellement il en a 155. L'Algérie, a participé, sur une base volontaire, à la « PIC » procédure mais n'a pas encore ratifié la Convention⁴² (MATEE, 2006).

1.9.3 Normes

Sur le plan réglementaire, seules les eaux de surface et souterraines font l'objet de contrôles de la présence de pesticides avec des normes de qualité (Alix et al., 2005).

La mise en œuvre de l'approche physico-chimique constitue la démarche la plus ancienne et la plus utilisée pour apprécier la qualité des milieux. Des méthodes permettant l'analyse de nombreux pesticides dans les matrices environnementales sont d'ores et déjà disponibles. L'interprétation des résultats se fait le plus souvent par comparaison des valeurs obtenues avec des valeurs de référence, lesquelles n'existent le plus souvent que pour l'eau.

1.9.3.1 Normes pesticides dans l'eau potable

A l'heure actuelle, les valeurs de référence utilisées sont essentiellement celles qui ont été établies pour les normes de potabilité : **0,1 µg/l** en général pour chaque

³⁸ (<http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesSignatories/tabid/4499/Default.aspx> consulté le 16/10/2016 à 11 :05).

³⁹ (<http://chm.pops.int/Home/tabid/2121/Default.aspx> consulté le 06/10/2016 à 10 :45).

⁴⁰ Prior Informed Consent (PIC) Procédure ou procédure provisoire de consentement préalable en connaissance de cause.

⁴¹ United Nations Environment Programme.

⁴² (<http://www.pic.int/LesPays/Etatdesratifications/tabid/1759/language/fr-CH/Default.aspx> consulté le 06/10/2016 à 10 :15)

substance et **0,5 µg/l** pour l'ensemble des substances, selon la Directive 80/778/EEC, 1980 (Alix et al., 2005) et le décret du 20 décembre 2001 en France pour l'eau du robinet (Scheyer, 2004). La législation reprend les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006⁴³.

1.9.3.2 Normes pesticides du « Codex Alimentarius » dans les aliments

- **Limites Maximales de Résidus (LMR)**

Les limites maximales de résidus (LMR) sont les niveaux supérieurs de concentration de résidus de pesticides autorisés légalement dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux. Elles visent à garantir le niveau d'exposition le plus faible possible pour les consommateurs. Il y a une LMR pour chaque production végétale et pour chaque pesticide. Ces normes sont établies par le « Codex Alimentarius »⁴⁴ ou «Code alimentaire», qui a été créé par l'ONUAA(FAO)⁴⁵ et l'OMS en 1963 afin de mettre au point des normes alimentaires internationales harmonisées destinées à protéger la santé des consommateurs et à promouvoir des pratiques loyales en matière de commerce de denrées alimentaires.

1.9.3.3 Normes pesticides dans l'air

Il n'existe pas de surveillance systématique de la contamination en pesticides de l'air. Il n'existe pas non plus d'ailleurs, de normes de sécurité fixant une concentration limite de pesticides dans l'air (Scheyer, 2004).

1.9.3.4 Normes pesticides dans le sol

Vu le nombre très important de matières actives qui s'utilise sur les cultures et qui atteignent le sol, il est difficile d'établir des normes pour le sol. Aussi, l'effet toxicologique des pesticides sur l'homme sont plus importants via l'eau, les aliments et l'air ce qui rend ces matrices prioritaires en matière de normes de résidus de pesticides. Malgré la non existence de normes algériennes ni de normes

⁴³ (<http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm> consulté le 10/10/2016 à 14 :30).

⁴⁴ (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-home/fr/>) consulté le 10/10/2016 à 11 :30.

⁴⁵ L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture/Food and Agriculture Organization.

internationales standards, quelques pays ont, cependant, établi pour quelques substances actives (essentiellement des Organochlorés) quelques normes, par exemple :

a) Le seuil de contamination du sol au Pays Bas pour le lindane ($0.05 \mu\text{g.kg}^{-1}$), l'aldrine ($2.5 \mu\text{g.kg}^{-1}$), le dieldrine ($0.5 \mu\text{g.kg}^{-1}$) et l'endrine ($1 \mu\text{g.kg}^{-1}$), pour l' α -endosulfan, le β -endosulfan, l'Endosulfan total ($50 \mu\text{g.kg}^{-1}$)

b) La valeur guide des sols contaminés au Canada est de $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de sol sec pour le 2-4 DDT, le 4-4 DDE, le 4-4 DDT et l'heptachlore (Department of Soil Protection, 1994 et Jauzein et al., 1995 in Mawussi, 2008).

Conclusions

Très peu de travaux de recherche existent au niveau algérien concernant la contamination des milieux (urbain et ruraux) des matrices environnementales : eau, sol, air par les phytosanitaires. La réglementation n'est pas assez rigoureuse surtout concernant la gestion des stocks de pesticides périmés. Bien que l'Algérie présente une quantité moyenne d'usage de pesticide à l'hectare de terre arable moindre que ces voisins de la Méditerranée, la situation n'en est pas moins alarmante pour autant. Car les chiffres ne prennent pas en considération les terres intensément cultivées comme les secteurs irrigués, les serres qui concentrent l'usage en certaines zones particulières. Enfin, les chiffres sont sujets à caution du fait des conditions légales particulières avec la possibilité d'un trafic de contrebande des substances, et/ou d'une minoration des déclarations d'usage.

Chapitre 2

Plasticulture, enquêtes et analyses

Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons étaler quelques données et définitions concernant la plasticulture, système de culture visé par cette étude, examiner sa dépendance aux intrants chimiques. Il s'agit également de comparer le type de données pouvant être recueillies en mettant en place deux méthodes d'investigation très différentes : les enquêtes « phytosanitaires » par questionnaire et/ou par analyse. La synthèse de la bibliographie des études sur les pratiques d'apport de pesticides en méditerranée nous permettra d'évaluer nos propres résultats sur les Ziban pour en positionner la portée.

2.1 Serriculture ou plasticulture

Les serres peuvent être recouvertes de verre ou de films plastiques⁴⁶,

2.1.1 Définition

Les serres, étant donné les caractéristiques structurelles et leurs conditions climatiques particulières (espace confiné, haute température, humidité relative élevée), sont des agro-écosystèmes très spécifiques par rapport au champ libre. Afin d'assurer des productions élevées, l'emploi **massif** d'intrants nutritifs et phytosanitaires (engrais et pesticides) sont nécessaires (Cerruto & Emma, 2010). Les serres fournissent un environnement de croissance fermé (d'où le terme protégé) qui peut être contrôlé, toute l'année. Cela permet une culture intensive avec des rendements annuels beaucoup plus élevés que pour la production en plein champs (Kacira et al., 2004).

2.1.2 Types

Plusieurs types d'abris en plastique existent pour cultures maraîchères et horticoles dont i) le bas tunnel, ii) le haut tunnel plastique et iii) la serre.

Les tunnels bas sont des « serres miniatures » qui ne sont cependant pas chauffées et qui sont susceptibles d'être facilement déplacées. La culture sous tunnel bas est généralement désignée sous le vocable de « Semi-forçage » de par sa position intermédiaire entre la culture en plein air et la culture protégée en serre. Comme ces dernières, les tunnels bas, permettent d'intensifier la production mais avec un investissement moins onéreux. C'est au Japon, en 1950, que sont nés les premiers tunnels couverts de plastique. Certains pays comme le Maroc, l'Algérie et, dans une moindre mesure, l'Espagne, ne sont pas passés par la phase transitoire

⁴⁶ Dans ce dernier cas on parle de plasticulture en référence aux matériaux de recouvrement de la serre.

du petit tunnel avant celle de la serre (FAO, 1988). Selon la même source, les petits tunnels sont réservés aux cultures de légumes de volume réduit (laitue, fraise, etc...) ainsi qu'au démarrage d'espèces de taille élevée (tomate, poivron, etc), tandis que les serres et les grands tunnels sont surtout destinés aux cultures de légumes. Les cultures florales n'occupent que 11% de la surface totale ; l'Italie, l'Espagne et la France sont les trois principaux producteurs de fleurs coupées et ornementales.

Dans leur forme la plus simple, **les tunnels hauts** ont un cadre (armature) recouvert d'une seule couche de plastique et ils n'ont ni service électrique, ni ventilation automatisée, ni système de chauffage (Lamont et al., 2002; Wells, 1996 in Lamont 2009). La plupart des tunnels hauts ont une source d'eau pour l'irrigation et, dans la plupart des cas, ils utilisent l'irrigation au goutte à goutte.

Une serre a une double couche de plastique gonflable, avec des systèmes entièrement automatisés de ventilation et de chauffage. Une serre fournit beaucoup plus de contrôle environnemental de l'environnement des cultures (Lamont, 2009). En d'autres termes, le tunnel haut est une serre froide ou non chauffée qui n'est pas automatisée et qui dépend entièrement de l'homme (l'agriculteur) pour le contrôle de son aération.

2.1.3 Importance de la plasticulture

L'abri serre s'est fortement développé au cours des années 70 et au début des années 80 dans le pourtour du bassin méditerranéen alors qu'à l'origine, il était conçu pour corriger les aléas climatiques dans les pays du Nord de l'Europe.

2.1.3.1 Importance dans le monde et en Méditerranée

Selon Garnaud (1984), la superficie en serre de plastique est passée de 80 000 ha en 1980 à 100 000 ha en 1983 alors que la surface du parc mondial des serres en verre demeure sensiblement inchangée, à environ 30 000 ha. L'augmentation de l'industrie des serres en verre dans le monde a été assez limitée par rapport à l'énorme propagation des serres en plastique (Castilla, Hernández, & Abou-Hadid, 2004). Selon Lamont (2009), les superficies en cultures protégées (serres en plastique et hauts tunnels) par région dans le monde sont estimées à 586300 ha dont 75% en Asie (Chine, Japon, Corée), 16,54% en région Méditerranéenne (Espagne, Italie, Turquie), 2,89% en Afrique et Moyen-Orient, 2,84% en Europe et 2,66 % aux Amériques.

En région Méditerranéenne, la culture protégée est pratiquement synonyme de culture sous plastique (FAO, 1988). Dans le bassin méditerranéen⁴⁷, la surface occupée atteint en 1999 près de 144 000 ha de serres et de tunnels hauts (Castilla, 2002 in Castilla et al., 2004). Récemment Il y avait environ 220 000 ha de serres dans ce contexte d'après Papasolomontos et al. (2013) in GAP (2013). Cette hausse généralisée de l'industrie des serres en plastique repose principalement sur l'utilisation de structures à faible coût (Castilla et al., 2004). L'Algérie avec ses 9678 ha enregistré en 2012 est à moins de 5% par rapport à cette superficie.

La culture protégée est très irrégulièrement répartie sur le territoire des pays qui l'ont adoptée. En général, les régions du Sud sont davantage concernées que les régions du Nord, en particulier au niveau de la culture légumière. En Italie, 60% de la surface totale se situe dans la région méridionale et en Sicile ; en Espagne, c'est essentiellement le long de la côte Sud (Almeria) que l'on rencontre les serres en plastique ; en France, on peut considérer la Provence comme centre de la production de légumes ; en Grèce, 50% de la production est assurée par la Crète, et au Portugal, on peut attribuer la même proportion à la région d'Algarve (FAO, 1988).

2.1.3.2 Importance en Algérie

Les abris plastiques ont été introduits en Algérie au cours de la campagne 1969/1970 avec le projet FAO. En 1969, l'idée était d'introduire cette modalité sur des superficies restreintes en vue de satisfaire les besoins de la consommation locale et faire face à la concurrence étrangère (Anonyme, 1987 in Sidrouhou 2005). Cependant, entre 1984 et 1994, les superficies en serre (abris plastique) n'ont pas connu d'évolution et affichent la même superficie de 3600 ha (FAO, 1988 et ITCMI, 2000 in Sidrouhou, 2005). Selon la dernière source, c'est durant la campagne 1998-1999, qu'une relance de la plasticulture s'était affichée avec une superficie en hausse de 4271 ha. 75% de ce potentiel national se localisait en région Centre et Sud avec respectivement 1651,37 ha (38,66%) et 1547,64 ha (36,23%) suivi par la région Ouest puis Est avec 584,90 ha (13,60%) et 487,42 ha (11,42%) respectivement. Les principales wilayas représentant ces régions sont respectivement Tipaza, Biskra, Mostaganem et Jijel. Biskra, wilaya du Sud algérien occupait déjà la première place avec 31,5 % de cette superficie en 1998-1999 qui est passé à 37 % en 2012 (Tab.6).

⁴⁷ Tous les pays d'Afrique, d'Asie et d'Europe limitant la mer Méditerranée, situé entre les latitudes 30 ° N et 46 ° N approximativement.

- **Sud algérien**

Selon Sidrouhou (2005), les premières serres (avec une superficie d'un hectare) installées dans le sud concernaient la majorité des wilayas à titre expérimental, chez quelques agriculteurs au cours de la campagne 1975 /1976. Vu les résultats obtenus, les stations de recherche ont commencé à s'intéresser à la plasticulture notamment la station de Ouargla et d'Adrar au cours de la campagne 1977/1978. En 1982/1983 la ferme pilote de Sidi-Okba (Biskra) a suivi (communication personnelle de M. Gousmi).

2.1.3.3 Importance des espèces cultivées

L'Espagne et l'Italie sont les deux pays les plus concernés par la culture protégée concernant les légumes. L'Italie produit 24 espèces différentes en serres et grands tunnels, 5 espèces d'entre-elles totalisent 80 % de la production : tomate, fraise, poivron, courge et aubergine. La tomate occupe le premier rang également en Grèce, en Tunisie et au Maroc. En Espagne, les légumes les plus importants sont le melon, la pastèque, la tomate et le poivron. Considérant l'ensemble du territoire méditerranéen, le classement est le suivant : en tête, la tomate (35 à 40 % du total), puis le poivron (tous types) (15% du total), les cucurbitacées (concombre, melon, pastèque) et enfin, les fraises (FAO, 1988).

En 2010, la Turquie occupait la 4^{ème} position mondiale quant à la production de tomate (plein champs et sous serre) correspondant à 10 052 000 tonnes derrière, la Chine, les Etats-Unis et l'Inde et en devançant les pays méditerranéens suivant : Egypte (8 544 990 t), Italie (6 544 990 t), Espagne (4 312 700 t), Grèce (1 406 200 t), Portugal (1 406 100 t), Maroc (1 277 750 t), Tunisie (1 100 000 t), France (587 586 t) et l'Algérie (578 700 t) (Faostat.fao.org, avril 2012, in Rekibi, 2015).

Tableau 6: Evolution des superficies (ha) des serres et des hauts tunnels plastiques à travers le monde, en Méditerranée avec focus sur l'Algérie établie à partir de différentes références.

Pays /région du monde	Chine	Espagne	Japan	Italie	Corée	Afrique de l'Ouest	Turquie	Pays-Bas	France	USA	Grèce	moyen-Orient	Allemagne	Belgique	Péninsule arabique	Afrique de l'Est	Royaume-Uni	Canada
Références																		
INRA (2012)							56380,5 ¹											
Tüzel & Düzyaman (2009) 2008	-	-	-	-	-	-	54215,8 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lamont (2009)	360000	55000	52571	26000	21061	11400	10800	10800	9100	5000	4620	4300	3300	2250	1930	1700	1600	1470
Sidrouhou (2005) 1996	34000	28000	47000	22300	22000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Essentiellement pourtour Méditerranéen	Algérie	Espagne	Bulgarie	Italie	Chypre	Liban	Turquie	Maroc	France	Portugal	Grèce	Tunisie	Egypte	Israël	Jordanie	Syrie	Lybie	AS
Sidrouhou (2005) 1996	-	-	-	-	-	-	8250	8500	-	2000	-	1200	1000	-	1700	-	-	1540
Garnaud (1984) 1980	200	11000	900	14900	87	60	4200	204	4000	950	3200	323	-	-	-	-	-	-
1983	1000	15000	1200	16290	99	250	5200	450	4700	1100	4000	1000	-	-	-	-	-	-
FAO (1988) 1983	-	15596**	-	19547**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400*	347*	20*	-	-
1984	3600*	-	-	-	166**	1100*	9114**	1600**	9000**	1150**	3200**	-	126**	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	900*	-	-	-	-	-	-
ITCMI (2000) 1994-1995	3600																	
1998-1999	4271																	
DSA (2013) 2012	9678																	
Algérie Régions	Centre			Ouest			Est	Sud		%	Biskra	Références	Bouammar (2010)		DSA (2013)			
Principales Wilayas	Tipaza	Boumerdes	Alger	Mostaganem	Telemcen	Jijel	Biskra	Ouargla				Campagnes	2007		2012			
ITCMI (2000) 98 - 99	779	395,50	182,32	285,59			409	1345,72	77,90	81,36		Superficie	2321		3581			

*Cultures légumières uniquement, ** Cultures légumières et horticoles, AS : Arabie Saoudite.¹ 33,4% et 30% de ces superficies sont dédiés aux tunnels plastics bas pour 2008 et 2010 respectivement.

2.1.4 Plasticulture et intrants chimiques

L'application des pesticides est une pratique très associée à la production sous serre, pour améliorer la qualité et la quantité des produits agricoles (Cerruto & Emma, 2010). En outre, ces polluants sont contenus dans un espace fixe et protégé qui ralentit la dégradation par rapport aux conditions naturelles (Chen et al., 2013). Exemple emblématique en Chine, la production de légumes sous serre est liée à une sur-fertilisation et les applications intensives des pesticides pour atteindre des rendements maximaux (Jin et al., 2014). Omirou et al. (2009) et Kansaye et al. (2013) rapportent qu'avec l'utilisation intensive de pesticides dans les cultures en serre, les résidus peuvent être accumulés à des niveaux supérieurs à ceux autorisés par l'UE (Règlement (CE) n ° 396/2005) et ceux permis par la législation chinoise sur la gestion des pesticides respectivement ou les Limites Maximales de Résidus internationales.

2.2 Les Enquêtes

Durant nos recherches bibliographiques nous avons constaté qu'il existait pour la détermination et la quantification des pesticides, deux types de recueil de données ou « Survey » (en anglais), le premier type est une interrogation directe de l'agriculteur, premier utilisateur de ces phytosanitaires qui est questionné sur ses pratiques, le second type vise directement la détermination des contenus en substances dans des échantillons des matrices (eau, sol, air faune ou flore) concernées à l'aide de techniques et d'appareillages analytiques de plus en plus performants et précis. Alors que le premier type se base en général sur un questionnaire, le second type d'enquête utilise des méthodes analytiques plus au moins complexes. Cependant nous avons deux ordres de grandeurs ou deux échelles différentes, l'une en gramme voir kilogramme par hectare concernant l'apport de pesticides (inputs) et l'autre en ppm, ppb concernant les résidus de ces derniers. La deuxième échelle, plus fine est du domaine analytique. Dans ce qui va suivre, nous allons essayer de donner quelques exemples des apports des deux méthodes d'acquis de données, après nous allons définir quelques termes essentielles pour la compréhension de la suite du travail (partie pratique).

2.2.1 Les enquêtes par questionnaire

Les premiers résultats d'Al-sa'ed et al.(2011) dans la bande de Gaza (Palestine) ont montré que l'utilisation de pesticides est plus grande dans les zones de culture intensive de haute valeur (tomate, fraise) et que plus de pesticides sont utilisés pour les cultures cultivées en plastique que pour celles cultivées dans des systèmes à ciel ouvert. L'enquête dans l'étude de

Muhammad Aref Jaradat (2009) révèle une sur-exploitation des pesticides en Cisjordanie (Palestine), en particulier dans les zones irriguées de Tulkarem, de Jénine et de Jéricho. La consommation saisonnière moyenne de pesticides a été estimée à environ 40 kg / ha dans les champs irrigués et à 60,5 kg/ha sous plastique⁴⁸.

Les quantités de pesticides (SA) utilisées sous serres pour les cultures de tomate (98,7kg/ha), aubergine (131kg/ha), concombre (132,6kg/ha) et poivron (164kg/ha) dans la province d'Antalya (Turquie) obtenues selon Ozkan, Kurklu, and Akcaoz (2004) dépassent celle utilisée pour les cultures sous serre (60,5 kg/ha) dans la cisjordanie (Palestine) obtenue dans l'étude de Muhammad Aref Jaradat (2009).

Au Maroc, les enquêtes menées par Fekkoul et al.(2013) auprès des agriculteurs et des entreprises (de vente de l'agrochimie) ont montré que le contrôle chimique sur la plaine de Triffa (partie Nord-Est du Maroc avec une superficie de 750 km²) est assuré par environ 60 matières actives appartenant à dix groupes chimiques, dont 62% d'insecticides, 25% de fongicides, 10% d'herbicides et 3% d'acaricides. La quantité annuelle totale des pesticides utilisés dans la plaine de Triffa est d'environ 1 000 t. Cette enquête est faite afin que les auteurs choisissent les molécules prioritaires à analyser dans l'eau dans la suite de leur travail. Au Maroc toujours, dans la région du Mnasra, bassin du Gharb, dans le travail de Marouane (2014), en comparaison avec celui de Fekkoul et al.(2013), on constate que lorsque la région et les spéculations ont changé, les proportions de spécialités pesticides ont changé et sont de 53,4 %, 43,1 % et 3,4 % pour les fongicides, les insecticides et les herbicides respectivement pour 26 matières actives appartenant à 17 familles chimiques. Le maraîchage était en tête dans la seconde étude contre les agrumes dans la première. La différence du nombre de SA plus important dans la première étude est du au fait que les enquêtes ont inclus des entreprises de l'agro-chimie.

En Algérie par exemple, les résultats des enquêtes effectuées au niveau de la Mitidja (Mouzaia) par Siouane (2012) ont permis de constater une faible utilisation de pesticides par rapport à la France pour les cultures de pommiers et de pommes de terre (IFT⁴⁹ : indicateur de fréquence de traitement plus faible), ceci avec des rendements beaucoup plus faibles.

⁴⁸ À l'exclusion de l'utilisation du bromure de méthyle mesurée en litres.

⁴⁹ IFT permet d'évaluer la « pression phytosanitaire » exercée sur chaque parcelle. Il est exprimé en « nombre de doses homologuées/ha » appliquées sur la parcelle pendant une campagne culturale.

En ce qui concerne la toxicité des molécules employées, l'agrume et le poivron (usage du Benomyl⁵⁰ et du chlorothalonil) sont les cultures les plus toxiques avec un IRTH⁵¹ (indicateur de risque de toxicité pour la santé humaine) moyen entre de 9701,33 et 9613. Le pêcher est la culture qui valorise mieux la toxicité par rapport aux autres cultures. Dans la zone de la Mitidja, l'arboriculture est la culture la plus utilisatrice des produits phytosanitaires et la plus risquée vis-à-vis de la santé humaine. Cependant, les grandes cultures consomment moins de pesticides par rapport au maraîchage et à l'arboriculture tout en présentant le risque le moins élevé (Siouane, 2012).

En maraîchage hors serre dans la région de la vallée du Souf (Sud-Est algérien), nous observons dans l'enquête de Ben Abdelhamid (2016) que les IFT moyens pour les solanacées : poivron, tomate et pommes de terre sont souvent élevés, ces IFT dépassent pour les cultures de piment/poivron (15,60) et tomate (10,16) ceux obtenus par Siouane (2012) dans la zone de la Mitidja (Nord Algérien) de 8,2 et 7,4 respectivement. Les valeurs de l'indicateur de pression phytosanitaire sur l'environnement (IPP) (Tab.7) montrent que la pression engendrée par la pomme de terre dans toutes les stations est la plus élevée avec le plus important score moyen (4,85) par rapport aux autres spéculations, le site de Hassi khalifa détient la valeur maximum en IPP (11.92) score dû à l'intensité d'utilisations des pesticides et aux grandes superficies cultivées en pomme de terre.

La majorité des enquêtes réalisées récemment en Algérie dans les travaux de (Tab.7) : Siouane (2012) (région Nord), Ayad-Mokhtari (2012) (région Ouest), Ben Abdelhamid (2016) (région Sud), Ramdani et al.(2009) (région Sud), Rekibi (2015) (région Sud), ont permis de recueillir sous différents systèmes agricoles, dont le milieu serricole, des données concernant l'apport de pesticides : les familles chimiques, les substances actives, les spécialités commerciales, le nombre d'application de ces derniers/cycle, quelques quantités appliquées par serre.

Ramdani et al. (2009) ont avancé, qu'au niveau des Ziban (Sud-Est algérien), et pour les cultures sous serres, les agriculteurs utilisent des quantités importantes de pesticides et que cela produit des excès de concentration de résidus (sans pour autant les quantifier). Ils concluent sur la nécessité de mesure de concentrations pour disposer d'une appréciation des

⁵⁰ Fongicide et miticide de la famille des Benzimidazole, non approuvé d'usage dans tous les pays de l'Union Européenne.

⁵¹ L'IRTH mesure l'impact potentiel d'utilisation de pesticide sur la santé humaine en permettant aux travailleurs de remplacer les produits les plus à risque pour leur santé par des produits offrant une innocuité supérieure.

effets de ces pesticides sur la santé humaine et l'environnement, des analyses de l'eau, du sol et de l'air.

Les données recueillies par enquêtes sur les usages et pratiques phytosanitaires peuvent être utilisées en tant que telles (ex. quantité d'ingrédients actifs de pesticides/ha, tonnage/spécialités pesticides/cycle cultural), en les comparant à d'autres données issues du même système de culture mais dans d'autres régions (et pays) et même être comparées à d'autres systèmes de cultures (ex. légumes sous serre et de plein champs). Ces données peuvent également être à la base de calcul d'indicateurs (indices) de pression, de toxicité, d'écotoxicité ou dans la modélisation des transferts vers les différentes matrices environnementales conjointement avec d'autres données climatiques, chimiques (SA) et du milieu physique. Par exemple, Marucci et al. (2011), réalisent une enquête sur les pratiques agricoles d'une zone de production de légumes située dans le Nord de la région de Latium (Italie) sur la côte tyrrhénienne. Les données sont utilisées pour simuler la perte d'eau, de nutriments et de pesticides dans les rotations les plus courantes à la fois en serre et en plein champ. Sont pris en considération pour chaque exploitation: les cultures des 2 dernières années (superficie plantée, espèces et cultivars); Les techniques agricoles (densité et espacement des plantes, date de plantation et de récolte); La fertilisation (type d'engrais, quantité, méthodes de distribution, date de distribution); Application des pesticides (produit distribué, nombre de traitements, quantité, méthodes de distribution, date de distribution); Irrigation (méthode d'irrigation, eau administrée, date d'irrigation).

Ces enquêtes contribuent aussi à la détection d'usage illicite de SA qui sont interdites à l'échelle internationale, comme c'est le cas dans l'étude de Ayad-Mokhtari, (2012) où plusieurs SA demeurent d'usage en agriculture dans la région Nord-Ouest d'Algérie. Ces SA appartiennent à diverses familles chimiques : Organophosphorés (methidathion, parathion-méthyl) et Pyréthriinoïdes (cyfluthrine).

Au niveau algérien, le calcul d'indicateurs de risques et de pressions environnementales et de santé semble la méthode la plus employée pour approcher le domaine de l'impact des phytosanitaires employés en agriculture. La modélisation concerne le devenir et les transferts des pesticides dans l'environnement à partir de données recueillies par enquête semble une méthode intéressante pour prévoir et prévenir les risques de contamination.

Tableau 7: Types de données pouvant être obtenu par enquête par questionnaire sur le système serricole et de pleins champs.

Région, pays	Références	Nombre d'enquêtés Type/système de culture	Aspects touchés, objectifs visés, résultats	Exemples quand il ya lieu de :		
				Substances actives Spécialité pesticides	Quantité (kg) de pesticides (ou SA) appliquée/ha	Nombre d'application/cycle cultural (année) et/ ou indice de fréquence de traitement (IFT)
Sud-est de la Sicile ⁵² .	(Cerruto & Emma, 2010)	21 propriétaires de fermes de serres.	Statistiques sur les fermes, machines utilisées, nombre d'applications par an, paramètres de fonctionnement, sécurité des opérateurs et impact sur l'environnement.	-	-	> 16 applications/année
Bande de Gaza, Palestine.	(Al-sa'ed, Ramlawi, & Salah, 2011)	Travailleurs agricoles. (cultures sous serres et de pleins champs)	Connaissances, attitudes, pratiques et symptômes de toxicité liés à l'utilisation des pesticides.	En serre et en plein champs.	Pesticides : 38,4	-
Cisjordanie, Palestine.	(Muhammad Aref Jaradat, 2009)	-	La quantité totale de pesticides (y compris le bromure de méthyle) utilisée en Cisjordanie est estimée à environ 1800 tonnes/an. Du total des pesticides utilisés, les insecticides représentent 49,4%, les fongicides 33,7% et les herbicides 12,78%	En serre : En plein champs :	60,5 40	-
Latium sur la côte tyrrhénienne, zone côtière, Italie centrale.	(Marucci, Campiglia, Colla, & Pagnello, 2011)	40 fermes (cultures sous serres et de pleins champs)	Les cultures des 2 dernières années (superficie plantée, espèces et cultivars); Techniques agricoles (densité et espacement des plantes, date de plantation et de récolte); Fertilisation (type d'engrais, quantité, méthodes de distribution, date de distribution); Application des pesticides (produit distribué, nombre de traitements, quantité, méthodes de distribution, date de distribution); Irrigation (méthode d'irrigation, eau administrée, date d'irrigation). Objectif : évaluer le comportement des pesticides dans le sol et de quantifier les pertes dans l'environnement à travers des modèles de simulation tels que GLEAMS ⁵³ , qui tiennent compte de la culture, du type de sol, des pratiques de gestion et des conditions climatiques.	En serre : (2005-2006) Cymoxanil (F) Fosétyl-Al (F) Imidacloprid (I) Exitiazox (A) Propamocarb (F) Metalaxil-m (F) Cyproconazole (F) Soufre (F) Thiamethoxam (I) Deltamethrine (I) Acrinathrine (A-I) Abamectine (A-I) Penconazole (F) Lambdacyhalothrine (I) Hydroxyde de cuivre II(F) Propyzamide (H)	0,500 1,600 0,024 0,300 0,722 0,160 0,050 3,000 0,400 0,036 0,038 0,018 0,200 0,020 3,000 4,000	-
Province d'Antalya, Turquie	(Ozkan et al., 2004)	88 producteurs de cultures sous serres (tomate, concombre, aubergine et poivre)	Une utilisation intensive des intrants dans la production de légumes de serre non accompagnée d'une augmentation du produit final. Cela peut entraîner des problèmes associés à ces intrants tels que le	Cultures sous serres : Tomate Concombre Aubergine Poivron	98,7 132,6 131 164	-

⁵² La Sicile est une région autonome d'Italie. L'île homonyme, qui compose cette région à 98 %, est la plus grande île de la mer Méditerranée. Son chef-lieu est la ville de Palerme.

⁵³ Groundwater Loading Effects of Agricultural Management System = Effets du système de gestion agricole sur les eaux souterraines.

			réchauffement climatique, la charge de nutriments et la pollution par les pesticides.			
Plaine de Triffa Nord-Est du Maroc.	(Fekkoul et al., 2013)	Agriculteurs et des entreprises de l'agrochimie. Agrumes, légumes, céréales et diverses cultures arboricoles.	Connaître les pesticides utilisés dans la région d'étude pour pouvoir choisir les substances actives à analyser.	60 matières actives appartenant à 10 groupes chimiques, dont 62% d'insecticides, 25% de fongicides, 10% d'herbicides et 3% d'acaricides.	10 ⁶ kg / an (pour 75*10 ³ ha)	-
Mnasra, bassin du Gharb, Maroc	(Marouane, 2014)	11 enquêtes. Maraichage (tomate, pomme de terre, choux et poivron) et légumineuses (arachide) prédominant dans la totalité des parcelles + culture fruitière+ bananier sous serre	Pour connaître les cultures, les pratiques agricoles et les intrants (engrais et les pesticides) appliqués ainsi que les doses employées; d'effectuer un suivi des teneurs en nitrates et pesticides des eaux souterraines (prélèvement d'eaux dans les puits) et des sols (prélèvement des champs agricoles voisinage des puits étudiés); de proposer les paramètres explicatifs (nature des sols, propriétés des molécules...).	environ 26 matières actives appartenant à 17 familles chimiques. Les pesticides appliqués se répartissent entre fongicides (53,4 %) et insecticides (43,1 %) ; alors que les herbicides (3,4 %).	-	-
plaine de la Metidja, commune de Mouzaia, wilaya de Blida, Algérie,	(Siouane, 2012)	39 enquêtes (cultures en % : agrumes 35,04, blé tendre 20,66 et le blé dur 11,47, le pêcher 7,01, Pommier 6,70, poirier 5,57, p.terre 3,20, poivron s.serre 2,91, tomate 2,08, haricot 2,04, aubergine 1,98, abricotier 1,34.)	Les itinéraires techniques utilisés (surtout sur le nom commercial et dose d'application des pesticides) ; Les données économiques relatives aux exploitations agricoles. But : Evaluer la quantité et le degré de toxicité des pesticides par le calcul d'un indicateur de fréquence de traitement (IFT) et d'un indicateur de risque de toxicité pour la santé humaine (IRTH).	519 pesticides dont : 278 insecticides (53,56%), 209 fongicides (40,26%) et 32 herbicides (6,16%)	-	IFT (IRTH**): Abricotier : 11,7 (7 784) Pomme de terre : 9,6 (7176) Pommier : 8,3 (8893) Poivron : 8,2 (9613) Poirier : 7,7 (7 693) Agrumes : 7,4 (9701) Tomate : 7,4 (6 748) Haricot : 6,5 (7 621) Pecher : 6,5 (6 298) Aubergine : 4,6 (6 191) Blé dur : 3,5 (2 450) Blé tendre : 3,2 (2 266)
Vallée Oued Souf, wilaya d'El Oued, Sud-Est algérien, Algérie.	(Ben Abdelhamid, 2016)	51 Agriculteurs, 13 stations (sites) (pomme de terre, tomate, piment/poivron, oignon, ail, blé)	Évalué l'impact des pesticides sur l'environnement (indicateur de pression phytosanitaire, IPP).en utilisant la méthode basée sur l'intensité d'utilisation des produits phytosanitaires exprimé par l'indicateur de fréquence de traitement IFT.	50 Substances actives dont : 48% : fongicides (25 SA) 36 % : insecticides (18 SA) 14 % : herbicides (7 SA) 2% : nématicides (1SA)	-	IFT moyen /culture et IPPmoyen**: Tomate : 10,16 (0,88) Poivron et piment : 15,60 (0,26) Pomme de terre : 8,95 (4,85) Blé : 5,76 (2,52) Ail : 2,66 (0,0265) Oignon : 2,15 (0,095).
Tolga et Sidi Okba, wilaya de Biskra, Algérie	(Ramdani, Tahri, & Belhadi, 2009)	200 serristes maraîchers, 100/localité et 2 phytopharmacies.	Étudier les pratiques phytosanitaires chez les serristes maraîchers en rapport avec les mesures de sécurité prises par les manipulateurs traiteurs, les malaises ressentis, le respect des délais avant récolte, le stockage et la gestion des emballages vides, les règles de décision pour l'achat des produits et la fréquence et les moments des traitements.	39,21% : fongicides, 36,27% : insecticides, 15,7% : herbicides, 4,9 % : insecticides –acaricides, 1,96 % : acaricides, 0,98 % : nématicides, 0,98 % : raticides	-	36% et 38 % à Sidi Okba et Tolga traitent tous les 4 à 7 jours respectivement.
Ain Naga, wilaya de Biskra, Sud-Est algérien,	(Rekibi, 2015)	97 Agriculteurs (Ain Naga), des coopératives agricoles, des grainetiers et les associations	Détermination du coût de production de la tomate sous serre dont la Charges de traitements phytosanitaires qui est égale à :	Ridomil(F) mancozèbe/métalaxyl Manèbe (F)	0,04 kg/serre 0,10 kg /serre 0,04 l/serre	Traitements : 8-10 insecticides, 4-6 fongicides,

Algérie.		agricoles (Biskra) Tomate sous serre.	Les charges de traitement phytosanitaire = prix des produits x dose/Serre.	Rubigan (fénarimol*) (F) Moncozèbe (F) Vertimec (abamectine) (A) Apollo (Clofentezine)(A) Lannate (Méthomyl)(I) Ortiva (azoxystrobine) (F) Pelt (thiophanate-méthyl)(F)	0,08 kg/serre 0,04 l /serre 0,06 l/ serre 0,06 l/ serre 0,06 l/ serre 7,2 litres /serre	2-4 acaricides.
Oran, Mostaganem, Tlemcen, Nord- Ouest-Algérie.	(Ayad- Mokhtari, 2012)	10 agriculteurs, l'INPV (Institut de Protection des Végétaux). Céréales, arboriculture, cultures maraichères et viticulture.	But : Les pesticides les plus couramment utilisés dans l'Agriculture du Ouest Algérien et d'évaluer leurs répercutions sur les sols, sur l'eau des nappes phréatiques, et par conséquent les effets de la pollution par les pesticides sur l'environnement.	Inorganiques : sulfate de cuivre, soufre ; Pyréthriinoïdes : alphacypermethrine, cyfluthrine*, cypermethrine, deltamethrine, lambdacyhalothrine ; Carbamates : moncozèbe, pyrimicarbe, methomyl, Organophosphorés : methidathion* méthyl Parathion* Triazoles : penconazole, propiconazole, triadimenol Néonicotinoïdes : thiamethoxam Avermectines: abamectine Acetamide : cymoxanil Pyridine : pymetrozine Oxazole : famoxadone. Oxadiazine : indoxacarb. Benzothiazinone : bentazone. Phenylpyrazole : pyraflufen ethyl.	-	-

Notes : F : fongicide, I : insecticide, A : acaricide, H : herbicide. *Substance active non approuvée à l'échelle internationale. ** Les valeurs correspondantes sont entre parenthèses. (-) : pas de données.

2.2.1.1 Etapes de déroulement de l'enquête

Pour obtenir des réponses, il est naturel de poser des questions. L'enquête par questionnaires est, à ce titre, un moyen essentiel pour collecter rapidement des informations. Une enquête par questionnaires est un vrai projet : elle implique des objectifs clairs, une méthodologie et une organisation rigoureuse, une planification précise et, bien sûr, des investissements parfois importants en temps et en argent.

Dans une enquête il faut bien cibler les objectifs, bien choisir l'échantillon, bien rédiger son questionnaire.

- **Le questionnaire** : la conception de ce dernier est essentielle dans la réussite du projet d'enquête. Un bon questionnaire doit permettre un bon traitement. Les objectifs d'analyse doivent donc être pris en compte dès cette étape. Aussi, le contenu du questionnaire qui doit se concentrer sur les seuls objectifs assignés à l'enquête. : Un questionnaire ciblé sur un thème précis sera plus lisible pour les répondants, plus facile à administrer et, au final, plus efficace.
- **Le traitement des données** : on peut citer parmi les analyses avancées qui apportent une valeur ajoutée importante dans le traitement des enquêtes :
 - La recherche des croisements les plus significatifs, qui permet de détecter automatiquement les couples de variables ayant la plus forte dépendance,
 - la régression multiple, qui permet de modéliser la relation entre une variable principale et un ensemble d'autres variables dans le but de pouvoir prédire la valeur de la variable principale en fonction des valeurs des autres variables,
 - les analyses factorielles, permettent de résumer plusieurs variables sur un plan des facteurs ou des individus,
 - les typologies, qui permettent de ranger les personnes interrogées en groupes homogènes (ex : CAH ou classification Ascendante Hiérarchique),
 - la segmentation, qui cherche à expliquer une variable qualitative par plusieurs autres.

Ces analyses ont besoin d'un outil statistique de traitement des données à l'exemple de SPSS (Statistical Package for Social Science).

- **La présentation et l'exploitation des résultats**

Il est important de chercher à présenter de manière attractive et compréhensible les éléments clés de l'étude.

2.2.2 Les enquêtes par analyse

Le mot « Survey » ou enquête apparaît dans de nombreux travaux liés au domaine de la détection des polluants/contaminants, il signifie souvent surveillance, contrôle, suivi, évaluation et parfois étude. Mais au lieu d'utiliser l'enquête au moyen d'un questionnaire (ou formulaire), l'enquête dans ce cas est réalisée à partir de méthodes analytiques plus au moins complexes.

Belmonte Vega et al. (2005) avancent que la quantité et le type de pesticides dans l'eau d'une région donnée dépendent en grande partie de l'intensité de la production et du type de cultures cultivées. Dans leur étude, dans la région d'Andalousie au Sud de l'Espagne, un nombre important de SA (11) a été détecté par LC-MS, essentiellement des herbicides. Dans cette région où l'agriculture est diversifiée : extensive, arboriculture et intensive (serres). La matrice « eau » a été la plus touchée par la détection. Le carbendazim (F), la simazine (H) et le diuron (H) ont été détectés dans les 4 zones comprises dans l'étude (Tab.8). Alors que seules les 3 herbicides : simazine (Triazine, approuvée seulement en Espagne), diuron (Phenyluré approuvé seulement en Espagne et en Bulgarie) et terbuthylazine (Triazine) étaient détectés dans la matrice sol de la zone arboricole (oliviers) exclusivement. Ce résultat implique un faible usage d'herbicides en agriculture extensive et en serriculture. Deux SA insecticides appartenant à la famille des Néonicotinoïdes n'ont pas été détectés dans l'eau en zone arboricole (oliveraies). En effet, l'imidaclopride n'est pas préconisée en arboriculture fruitière au contraire de l'acétamipride qui l'est pour les arbres à fruits à pépins à cause des risques pour les pollinisateurs d'où un moindre usage. L'imidaclopride a été détecté dans l'eau en zone serricole.

Dans l'étude de Vryzas et al. (2012), au Nord-Est de la Grèce près des frontières greco-bulgares-turcs, parmi les 32 pesticides et/ou leurs métabolites détectés dans la zone, le métolachlore et L'alachlore (tous deux herbicides non approuvés en union européenne appartenant à la famille des Chloroacétamides) ont été détecté au moins une fois dans respectivement 63% et 47% des puits, l'atrazine (herbicide non approuvé, appartenant au Triazines) dans 61% des puits. Les métabolites DEA (dééthylatrazine) et DIA (déisopropyl-

atrazine) produits de dégradation de l'atrazine dans 50% et 34% des puits respectivement. La détection d'herbicides est en rapport avec les cultures qui se pratiquent dans la région (surtout maïs et céréales) grandes consommatrices de ce type de pesticides.

Dans l'étude de Fekkoul et al. (2013), conduite à la plaine de Triffa au Nord-Est du Maroc pour les analyses de pesticides, 15 puits ont été sélectionnés dans une zone où les engrais non contrôlés sont associés à des systèmes agricoles intensifs (agrumes, légumes, céréales et cultures arboricoles diverses). Trois groupes de pesticides organochlorés en plus du HCB⁵⁴ (Hexachlorobenzène) et de l'endosulfan ont été recherchés (ceux utilisés par les agriculteurs) dans la matrice eau: le DDT et ses métabolites, l'hexachlorocyclohexane (HCH⁵⁵) et ses isomères⁵⁶ et le cyclopentadiène⁵⁷ (aldrine, dieldrine, endrine, heptachlore et heptachlore époxyde). Seules 6 molécules ont été détectées : L'aldrine (0,03; 0,02 µg/l), l'endosulfan sulfate (0,03 µg/l), le lindane (0,03 µg/l), le dieldrin (0,03 µg/l), l'heptachlor (0,025 µg/l) et le DDT (0,03 µg/l) qui sont tous des insecticides non approuvés selon la PPDB. Selon les auteurs, la concentration dans l'aquifère non confiné, pour chaque élément est faible ou même tolérable, mais leur addition est un problème majeur pour la santé humaine. Aussi, la présence des pesticides dans l'aquifère non confiné de Triffa est due au type d'agriculture (culture des plantes herbacées), à l'absence d'utilisation contrôlée des pesticides dans cette zone et au type d'élimination des eaux usées (Fekkoul et al., 2013).

Dans l'étude de Lebbik et Ait-amar (2013), seules deux SA Organophosphorée et Organochlorée ont été détectées dans l'eau souterraine de la zone de Mouzaïa (Plaine de la Mitidja): le malathion et le DDT parmi cinq SA analysées par GC-MS. L'analyse a été effectuée au CRAPC (Centre de Recherche en Analyses Physico-Chimiques) localisé dans la wilaya de Tipaza (Nord, Algérie). Il n'y avait pas eu de détection de pesticide par GC-MS dans l'étude de Ayad-Mokhtari (2012) sur la détection de pesticides dans les matrices eau et sol dans la région Nord-Ouest d'Algérie (Oran, Mostaganem, Tlemcen) ni dans celle de Aissaoui (2013) sur la détection de pesticides dans l'eau de barrage dans la région Nord-Est-

⁵⁴ Organochloré utilisé comme fongicide avant d'être interdit dans la communauté européenne depuis 1981 et par la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants en 2001, il continue à être produit pour la réalisation des caoutchoucs synthétiques, comme plastifiant du PVC.

⁵⁵ L'hexachlorocyclohexane (HCH) est de plusieurs composés organiques polyhalogénés consistant en un cycle à six carbones avec un chlore et un hydrogène attaché à chaque carbone. Il existe de nombreux isomères (dont certains sont des pesticides): α -HCH, β -HCH, γ -HCH (lindane), δ -HCH, t-HCH pour cette structure, différent par la stéréochimie (sous-discipline de la chimie ; elle implique l'étude de l'arrangement spatial relatif des atomes au sein des molécules) des substituants chlore individuels sur le cyclohexane. Parfois erronément appelé «hexachlorure de benzène» (HCB).

⁵⁶ En chimie organique, on parle d'isomérisation lorsque deux molécules possèdent la même formule brute mais ont des formules développées ou stéréochimiques différentes.

⁵⁷ Un hydrocarbure cyclique de formule C₅H₆.

d'Algérie (Mila) à cause (selon les auteurs) du manque de matériels et de standards dans le premier cas et fautes aux conditions climatiques : pluies, dans le second. Les deux régions sont à dominance céréalière.

Merouane (2014) n'a pas détecté de présence de pesticide réalisé par HPLC (chromatographie liquide haute performance) dans les matrices sol et eau dans le bassin du Gharb au Maroc et qui a évoqué comme raison de la non détection des molécules pesticides recherchées, la faible utilisation de ces composés dans la zone et la transformation partielle ou totale des molécules et ce malgré la diversité de l'agriculture pratiquée : maraîchage (tomate, pomme de terre, choux et poivron) et légumineuses (arachide), culture fruitière et bananier sous serre.

Nous avons constaté que la chromatographie gazeuse est la méthode de séparation de pesticides la plus employée dans les matrices eau et sol. Effectivement, Le couplage GC/ MS représente aujourd'hui la meilleure méthode de dosage pour les pesticides dans les différentes matrices environnementales (Brondi et Lanças, 2005).

Tableau 8 : Enquêtes analytiques à différentes fins : étude, surveillance, contrôle, évaluation-suivi des pesticides dans les matrices sol et eaux.

Région, pays	Références	Principale usage des terres	Matrices visées et objectifs de l'étude	Substances actives	Extraction	Dosage	Détection
Région d'Andalousie, Sud de l'Espagne. Zones : 1.Huelva ; 2.Séville et Cordoue ; 3. Cordoue et Jaén ; 4 : Granada, Malaga and Almeria	(Belmonte Vega et al., 2005)	Zones : 1) domaine agricole ; 2) agriculture extensive* ; 3) oliveraies ; 4) serriculture .	Eau et sol : Surveiller les composés pesticides, en raison de la grande diversité de leur utilisation en agriculture dans cette région.	Analysées : multi-résidus : 32 DéTECTÉES : 11** Eau : zone1 : 3 SA ; zone2 : 7 SA ; zone3 : 9 SA et zone4 : 7 SA. Sol : seule la zone3 avec 3SA herbicides.	Eau : SPE Sol : SLE	LC	MS
Nord-est de la Grèce près des frontières greco-bulgares-turcs à la partie grecque du bassin d'Evros.	(Vryzas et al., 2012)	Agriculture intensive : maïs, betteraves à sucre, coton, tomate, tournesol et céréales.	Eau : les deux premières années, 37 puits, destinés à l'irrigation, l'eau potable et les puits artésiens ont été surveillés , tandis que pour les trois années suivantes, l'enquête portait sur les 11 puits les plus contaminés.	Analysées : multi-résidus. 147 Pesticides sélectionnés, produits de dégradation et caféine. DéTECTÉES 32 pesticides et / ou leurs métabolites : 16 herbicides, 11 insecticides, 3 fongicides et 2 acaricides.	SPE	GC	-
Plaine de Triffa Nord-Est du Maroc.	(Fekkoul et al., 2013)	Systèmes agricoles intensifs : agrumes, légumes, céréales et cultures arboricoles diverses.	Eau : Cette étude met en évidence le stress hydrique ainsi que la contamination de l'eau par les nitrates, la salinité et la présence des pesticides (dans 15 puits).	Analysées : 14: Organochlorés: aldrin, Endosulfan, lindane, dieldrin endrin, heptachlor, DDT, DDD, DDE, endrin aldehyde, heptachlor epoxide, X-HCH B-HCH, §-HCH. DéTECTÉES:6: aldrin, endosulfan sulfate lindane, dieldrin, heptachlor, DDT.	-	GC	ECD
Mouzaïa, Ouest Plaine de la Mitidja, Nord de l'Algérie.	(Lebik & Ait-amar, 2013)	Agrumes (38%), l'arboriculture (17%), céréales (27%), blé/ légumes comme culture rotationnelle (11%), autres cultures (6%) et enfin la vigne (1%).	Eau : Cette étude évalue l'occurrence des pesticides dans les eaux souterraines à Mouzaïa situées à l'Ouest de Mitidja.	Analysées : 5 : 2 Organophosphorés : malathion, parathion ; 2 Organochlorés : DDT et l'aldrine ; 1 Triazines : simazine. DéTECTÉES : 2 : malathion et DDT.	LLE et SPE	GC	MS
Mnasra, bassin du Gharb, Maroc	(Marouane, 2014)	Maraîchage (tomate, pomme de terre, choux et poivron) et légumineuses (arachide) prédominant dans la totalité des parcelles + culture fruitière+	Eau et sol : Suivi des teneurs en nitrates et pesticides des eaux souterraines et des sols.	Analysées : 5 : Phénylamide : benalaxyl, Organophosphoré : chlorpyrifos, Pyrèthrineoïde : cyperméthrin, Carbamate : methomyl et Triazoles : penconazole	Eau : SPE Sol : ASE	HPLC	-

		bananier sous serre		Détectées : ND (faible utilisation de ces composés dans la zone et la transformation partielle ou totale des molécules).			
Wilayas d'Oran, Mostaganem, Tlemcen, Nord-Ouest-Algérie.	(Ayad-Mokhtari, 2012)	Céréales, arboriculture, cultures maraichères et viticulture.	Eau et sol : Evaluer la contamination des sols et des eaux de la nappe phréatique par les pesticides.	Analysées : 2 : deltaméthrine et parathion-méthyl. Détectées : ND (résultats pas encore obtenus par manque de matériels et de standards).	Eau : LLE Sol : SLE	GC ou LC	-
Région de Oued Athmania, wilaya de Mila, Nord-Est-Algérie	(Aissaoui, 2013)	Céréales et des légumes	Eau : Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la par les activités agricoles	Analysées : multi-résidus. NI Détectées : ND (fautes aux conditions climatiques : pluies).	LLE	GC	MS

Notes : **SPE** : extraction en phase solide, **LLE** : extraction liquide-liquide, **ASE** : extraction accélérée par solvant, **SLE** : extraction solide-liquide. **GC** : Chromatographie gazeuse. **LC** : Chromatographie liquide. **HPLC** : chromatographie liquide haute performance. **ECD** : Détecteur à capture d'électrons, **MS** : spectrométrie de masse. **NI** : non indiqué. **ND** : non détecté. *Système de production agricole qui ne maximise pas la productivité à court terme du sol en ne faisant pas appel à des intrants chimiques, à l'arrosage ou au drainage, **Ces SA sont : methomyl (I), carbendazime (F), imidaclopride (I), acetamiprid (I), atrazine (H), diuron(H), terbuthylazine (H), simazine (H), spinosad (I), pyridaben (I-A), cyprodinil (F).

2.2.2.1 Les méthodes et étapes d'analyses

De nombreuses méthodes d'analyses pour les pesticides sont décrites dans les textes normatifs. Ces normes sont révisées régulièrement par l'AFNOR⁵⁸ (Association française de normalisation) au niveau français, mais devant les évolutions rapides des équipements de laboratoire et le nombre important de pesticides mis sur le marché, certaines techniques et de nombreuses molécules ne sont pas encore décrites dans ces textes. Aussi, les laboratoires développent et valident leur propres méthodes, adaptées des textes normatifs.

Un protocole expérimental satisfaisant pour un couple matrice/substance ne convient pas forcément à toutes les matrices, ni à tous les produits de la même famille, ni aux métabolites. Il appartient à chaque laboratoire de choisir parmi les techniques existantes et les normes en vigueur, et de valider ses méthodes d'extraction et d'analyses afin de répondre aux critères d'exigence fixés pour la surveillance des milieux (Amalric, 2009).

- **Méthodes multi-résidus**

Selon l'observatoire des résidus de pesticides, les méthodes classiques permettent l'identification de quelques molécules seulement; en effet il n'est pas envisageable de pouvoir identifier et quantifier l'ensemble des pesticides du marché en une seule et même méthode. Toutefois, depuis une dizaine d'années, des méthodes appelées "multirésidus" ont été développées, qui permettent de doser de 10 à près de 400 composés avec une seule ou un assemblage de techniques. Les méthodes multi-résidus permettent la diversité des substances recherchées avec des concentrations à l'état de trace ou ultra-trace (Briand, 2009; Vulliet et al., 2010).

- **Etape d'analyse et de détection**

Le schéma (Fig.5) résume les principales étapes d'analyse chromatographique et les modes d'extraction, de dosage et de détection les plus utilisés. Ces derniers vont être définis et décrits sommairement pour permettre au lecteur d'avoir quelques notions de base car il existe beaucoup d'ouvrages qui les traitent de façon plus détaillée pour tous ceux qui s'y intéressent.

⁵⁸ Créée en 1926, AFNOR est une association régie par la loi de 1901, composée de près de 2 500 entreprises adhérentes. Sa mission est d'animer et de coordonner le processus d'élaboration des normes et de promouvoir leur application.

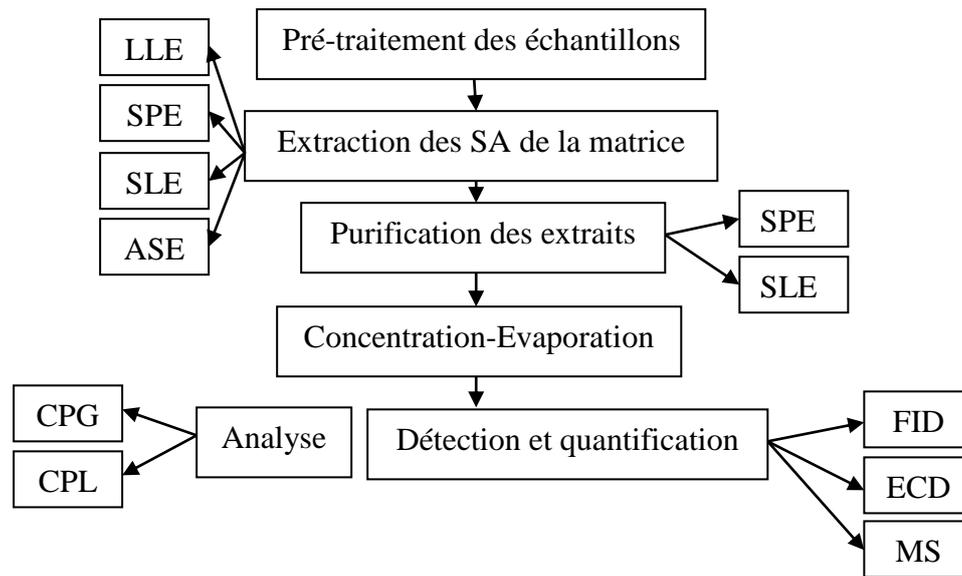


Figure 5: Schéma général de toute technique d'analyse de résidus de pesticides et modes d'extraction, d'analyse et de détection les plus répandus.

a. Le pré-traitement des échantillons

Dans tous les cas, une étape de pré-traitement de l'échantillon à analyser est nécessaire. Le pré-traitement permet d'obtenir une petite fraction de l'échantillon contenant la plus grande quantité de pesticides recherchés et le moins possible d'autres composés non ciblés de la matrice. Bien que les procédures d'assurance et de contrôle de qualité analytique soient désormais considérées comme « standards » par la plupart des laboratoires responsables d'analyses de surveillance, les étapes telles que l'échantillonnage, le pré-traitement, le transport et la conservation des échantillons sont souvent négligées car considérées comme ne faisant pas partie intégrante de l'analyse (Laboratoire national de métrologie et d'essais, 2009).

b. L'extraction

Les échantillons d'eau ou de sol ne peuvent pas être analysés directement à partir de la matrice en tant que telle, il faut, en effet, transférer (piéger) les contaminants (souvent pas que les pesticides) qui s'y trouve dans un milieu compatible avec l'analyse chromatographique. Il faut impérativement les séparer ou les extraire de ces matrices. Il existe plusieurs techniques

d'extraction, celle choisit doit être aussi spécifique que possible pour permettre d'isoler le plus sélectivement possible les pesticides sans altérer leur structure, elle nécessite l'usage d'un solvant approprié.

Pour la matrice eau par exemple, cela se fait par extraction liquide/liquide (LLE) ou liquide/solide (LSE) principalement. Cette étape permet de concentrer les composés d'un facteur 1000 à 10 000 (Amalric, 2009). Aussi, l'extraction en phase solide (SPE) est toujours la méthode dominante pour la purification des sols et des extraits de sédiments (Dabrowska et al., 2003 in Belmonte Vega. 2005).

Dans les exemples qu'on a vu (Tab.8), la SPE (l'extraction en phase solide) avec la LLE (l'extraction liquide/liquide) sont les méthodes d'extraction des pesticides les plus utilisées de la matrice eau. Tandis que la SLE (l'extraction solide/liquide) et l'ASE (l'extraction accélérée par solvant) ont été les plus utilisés pour la séparation des contaminants des sols. Cependant il existe d'autres techniques d'extraction.

- **LLE : (Liquid Liquid Extraction)** : est la technique la plus ancienne ; elle est basée sur le principe d'une distribution des substances phytosanitaires entre la phase aqueuse et un solvant organique non miscible à l'eau. Le choix du solvant s'opère parmi une large gamme de produits de polarité et de densité variables : hexane, éther de pétrole, dichlorométhane...(Amalric, 2009).
- **SPE : (Solid Phase Extraction)** : elle s'opère sur cartouche garnie de phase solide aux propriétés extractantes. La technique consiste à percoler l'échantillon d'eau dans un corps de seringue rempli de phase adsorbante. Les pesticides sont retenus sur l'adsorbant, puis récupérés par élution avec un petit volume de solvant ou mélange de solvants adaptés (quelques millilitres). Il existe une grande variété de molécules susceptibles d'être retenues sur le support de prélèvement. La technique d'extraction devra donc être aussi spécifique que possible et récupérer principalement les pesticides (Amalric, 2009).
- **SLE : Solid Liquid Extraction** : L'extraction solide-liquide (ESL) est un procédé d'extraction d'un soluté liquide ou solide obtenu à partir d'un solide en utilisant un liquide comme solvant d'extraction. Ce procédé fait partie avec l'extraction liquide-liquide des procédés d'extraction par un liquide.

- **ASE : Accelerated Solvent Extraction** : L'extraction accélérée par solvant est une technique reconnue pour l'extraction des échantillons solides et semi-solides. à l'aide de solvants courants à des températures et des pressions élevées.

c. La purification des extraits

Les extraits contiennent les pesticides recherchés et d'autres composés qui doivent être éliminés avant l'analyse. L'élimination des interférents, qui est une étape plus ou moins critique selon la nature de l'échantillon et le niveau de concentration recherché, est appelée purification, simplification de la matrice, lavage de l'échantillon ou "clean-up". Les méthodes de purification des extraits les plus répandues sont basées sur l'extraction liquide-solide (LSE) avec des adsorbants polaires (silice, alumine, silice greffée, florisil) mais aussi avec la SPE (dans des matrices solides) (Vulliet et al., 2010) . Les interférents sont éliminés par élution de la colonne avec des mélanges de solvants de force éluante croissante.

d. Les techniques d'analyse

L'analyse des résidus de substances phytosanitaires et de leurs produits de dégradation consiste à rechercher des traces de centaines de substances ou de métabolites aux propriétés très différentes au seuil de détection analytique de plus en plus bas dans des échantillons d'eaux et de sol contenant un grand nombre d'autres composés organiques à des concentrations très supérieures à ce seuil de mesures. Cela requiert un large éventail de méthodes d'analyses sélectives et sensibles et une haute technicité des opérateurs. Les techniques classiquement utilisées sont la chromatographie en phase gazeuse (CPG) et la chromatographie liquide haute performance (HPLC) associées à différents détecteurs de plus ou moins grande spécificité (Amalric, 2009).

- **La chromatographie en phase gazeuse (CPG)** présente une supériorité de performance pour les molécules volatilisables et thermostables. Soixante pourcent environ des résidus de pesticides sont analysables par cette technique. Elle peut être, par exemple, couplée au détecteur à capture d'électrons (ECD) pour les pesticides organochlorés, ou à d'autres types de détecteurs pour d'autres types de familles chimiques. Dans le couplage de la chromatographie en phase gazeuse à la

spectrométrie de masse (GC-MS⁵⁹); l'identification des substances est alors assurée par l'obtention d'un spectre de masse spécifique de la structure de la molécule. Cette technique de spectrométrie de masse est largement répandue dans les laboratoires et permet d'améliorer la sensibilité et la sélectivité des méthodes pour la grande majorité des pesticides (Amalric, 2009). Actuellement, le couplage de la chromatographie en phase gazeuse à la spectrométrie de masse (CPG-MS), spécialement dans le mode de suivi sélectif des ions (SIM), s'est révélé être le détecteur le plus sélectif et le plus sensible pour le dosage et la confirmation simultanés de composés organochlorés (Mukherjee et Gopal, 1996 ; Singh et al., 1998 in Mawussi, 2008).

- **La chromatographie liquide haute performance (HPLC)**, est adaptée aux substances polaires, non volatilisables et thermolabiles⁶⁰. Elle peut être couplée à différents détecteurs dont la spectrométrie de masse. Les développements de la spectrométrie de masse ont abouti à la spectrométrie de masse en tandem et cette technique de chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en mode tandem (triple quadripôle) est devenue la technique de choix pour l'analyse des pesticides polaires et/ou ioniques à l'état d'ultratraces (Amalric, 2009). L'utilisation de la MS en tandem (MS/MS) a pour avantage de supprimer le bruit de fond lié en partie à l'effet de la matrice. Cette technique permet de mieux isoler les molécules d'intérêt et d'améliorer ainsi la sélectivité et la sensibilité de la méthode d'analyse (Schreck, 2008).

La puissance d'identification de ces systèmes permet en sélectionnant un ion parent de la substance détectée et en procédant à la quantification sur un ion résultant de sa fragmentation une amélioration du rapport signal/bruit et par voie de conséquence un abaissement des *limites de quantification* et de *détection* des substances phytosanitaires.

Les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) instrumentales sont déterminées en diluant les solutions étalons jusqu'à ce que le pic obtenu ait un rapport signal-sur-bruit (S/N) proche de 3 pour la LODI et de 10 pour la LOQI (Diop, 2013).

⁵⁹ La spectrométrie de masse permet l'identification d'un composé par la séparation dans un champ magnétique et/ou électrique des fragments de la molécule engendrés par une quantité d'énergie constante. Le résultat fourni un spectre de masse de la molécule assimilable à une empreinte digitale.

⁶⁰ La thermolabilité est la propriété d'une substance à être détruite, décomposée ou à changer de propriétés lorsqu'elle subit une élévation de température.

- **Limite de détection** : La limite de détection notée LOD ($SN \approx 3$) est définie comme étant la plus petite quantité d'un analyte pouvant être détectée dans un échantillon et considérée comme différente de la valeur du blanc, mais non certainement quantifié (AFNOR, décembre 1999 in Schreck, 2008).
- **Limites de quantification** : La limite de quantification notée LOQ ($SN \approx 10$) est la plus petite grandeur d'un analyte pouvant être déterminé quantitativement (Schreck, 2008).

Conclusions

L'agriculture intensive par le système serre est très développée dans le bassin méditerranéen, ce dernier vient en deuxième position derrière les pays d'Asie en ce qui concerne les superficies serricoles. La serriculture est basée sur la définition d'un milieu protégé par des parois de verre mais surtout des films plastiques, sous lesquelles se pratique de l'horticulture (fleurs et plantes d'ornement) mais surtout du maraîchage (légumes). Dans les pays Nord-Méditerranéens c'est surtout des serres contrôlées (chauffées et ventilées) de grandes dimensions (multi-chappelles) qui dominent et où les cultures en « Hors-sol » sont de coutume. Réciproquement dans les pays de la rive Sud, les serres sont des « tunnels hauts » généralement dites « serres froides » (non chauffées), souvent de type mono-chappelle et de dimensions plus réduites. Cependant les grandes serres commencent à prendre place et la culture hors-sol est pratiquée. En Algérie, c'est au Sud-Est que réside le premier bassin de production maraîcher sous serre et précisément dans la wilaya de Biskra.

Les données de la littérature confirment l'état intensif du système agricole serricole en termes de consommation d'intrants chimiques (surtout pesticides) qui engendre des problèmes toxicologiques et écotoxicologiques divers.

Sur ce dernier point, plusieurs travaux ont essayé de quantifier et de qualifier les pesticides en amont comme en aval de leur usage. La quantification des apports de pesticides à l'hectare pour le système serricole en région méditerranéenne reste à parfaire surtout en rive Sud.

Pour enquêter sur ces apports excessifs d'intrants chimiques-pesticides, nous avons pu détecter deux échelles d'investigation ou deux approches qui se complémentent:

- **Enquête par questionnaire** : cette approche fait intervenir l'homme comme source de données/d'information pour la détection de ces polluants, en le questionnant. Cette approche est assez simple, nécessite peu de moyens mais beaucoup de temps (selon longueur du questionnaire, nombre de la population-échantillonnée et disponibilité des enquêtés); la détection des quantités apportées de pesticides peut se faire par

kilogramme ou litres d'ingrédients actifs par hectare. Cette information est conditionnée par la mémoire et les habitudes des usages phytosanitaires des agriculteurs et/ou par les enregistrements s'ils en réalisent. Les données issues des enquêtes peuvent être utilisées en modélisation (des transferts par exemple) et pour le calcul des indicateurs de risque/contamination/pollution/pression phytosanitaires ce qui aboutira à des cartes de vulnérabilité face auxquelles des plans de gestion de risque par priorité peuvent être élaborés : par type de produit (SA) et par région (situation agro-pédo-hydro-climatique). Pour obtenir le maximum d'information via cette méthode d'enquête, il faut augmenter et diversifier les parties enquêtées.

- **Enquête par analyse** : cette approche se base sur les méthodes et appareils analytiques et sur leurs performances et vise directement les diverses matrices : air, eau, sol, végétal. Elle est complexe, nécessite beaucoup de moyens (solvants, appareils, personnels qualifiés), onéreuse mais assez rapide et précise. La détection ici vise l'évaluation, le suivi et le contrôle de ce qui reste des quantités apportées en amont et de leur devenir dans les matrices environnementales. L'unité de détection (généralement en traces) est le micro ou nanogramme par litre d'eau ou par kilogramme de sol sec. Elle est réalisée le plus souvent (le mieux) grâce à des méthodes multi-résidus par chromatographie liquide et/ou gazeuse et par divers modes de détection dont la spectrométrie de masse. Cette approche est plus utilisée par les pays développés possédant le matériel nécessaire et la technicité requise. Cette méthode est la plus adaptée pour établir des normes standards et fixer des limites guides. L'enquête/l'investigation analytique peut apporter plus d'information car plus fine, mais se heurte à des difficultés de coût et de représentativité d'échantillonnage.
- L'enquête par questionnaire précède l'enquête analytique, et ce pour orienter, généralement le choix des molécules à analyser (quand la technique et les moyens analytiques sont limités) ou pour expliquer leur présence après analyse. Quand il est possible, de préférence utiliser une méthode d'analyse multi-résidus pour effectuer un balayage de toutes les SA et des produits de dégradation qui peuvent existés.
- Les Organochlorés constituent une famille prioritaire pour les analyses vues leur grande rémanence dans l'environnement. Les herbicides sont la classe à laquelle appartient les SA les plus détectées dans les eaux surtout en zone céréalière, contrairement aux insecticides et aux fongicides qui sont détectées aux alentours de maraîchage de plein champs et sous serre. Les cultures maraîchères sous serre

reçoivent plus d'apports pesticides que celles de plein champ. Les quantités de pesticides appliquées pour les cultures maraîchères sous serre diffèrent d'une culture à l'autre.

- La matrice sol a connue moins de travaux scientifiques que la matrice eau concernant la détection de pesticides surtout en pays du sud de la méditerranée.
- Les molécules pesticides détectées dans les sols et les eaux d'une région donnée (de surface ou souterraines) sont généralement corrélées avec les usages agricoles passés ou récents dans la région, et quand les molécules détectées ne correspondent pas totalement à celles apportées, c'est là qu'un réel problème de la source-origine de ces molécules se pose.
- Dans les études conduites en Algérie, les données analytiques de détections de pesticides qui ont abouti sont celles qui ont été réalisés à l'étranger dans des laboratoires spécialisés ou au niveau du CRAPC. Les enquêtes par questionnaire en agriculture touchant aux usages et pratiques phytosanitaires ont été conduites dans plusieurs travaux au Nord comme au Sud de l'Algérie. Aussi, très peu d'études analytiques ont été réalisées et ces dernières se font au Nord du pays. Aucune étude (enquête, dépistage) analytique visant la détection de pesticides dans les matrices eau et sol sous système serricole n'a été réalisée dans le Sud de l'Algérie jusqu'à présent.

Chapitre 3
Diagnostic
environnemental

Introduction

Dans le chapitre en cours nous allons établir un diagnostic général de la région d'étude en exposant ses caractéristiques. Nous souhaitons décrire le mieux possible le contexte de l'étude pour être en mesure d'apporter des éléments qui nous ont d'une part permis de préciser notre méthodologie d'étude et d'autre part de discuter les possibilités de compréhension de nos résultats. Enfin la précision de la description du contexte est un élément qui fonde la généralité potentielle de nos résultats. La région étudiée est cependant très particulière de par son intensité d'exploitation agricole couplée à des caractéristiques d'aridité très prononcée. Après avoir décrit les localisations géographiques, la répartition géographique des sols et le climat, nous nous intéresserons à l'hydrologie et l'hydrogéologie qui d'un côté conditionnent la possibilité de l'irrigation pour permettre la culture sous serre, mais d'autre part constituent une cible de pollutions générées par l'activité agricole.

3.1 Données générales sur la zone d'étude

Les données climatiques, hydriques, pédologiques et agricoles sont utiles dans l'interprétation et la discussion des résultats analytiques et de terrain (enquête).

3.1.1 Localisation géographique

La wilaya de Biskra est située à environ 425 km au Sud-Est de la capitale Alger. Issue de la refonte territoriale de 1974, elle s'étend sur les piémonts de l'Atlas saharien qui se partage en trois massifs montagneux : du Zab, des Aurès et des Némamchas. Biskra se situe au Nord-Est du Sahara septentrional, Sa latitude est comprise entre 34°39' et 35° 24' (N.) et sa longitude entre 4°99' et 6°79' (E.), elle s'étend sur une superficie de 21671.20 km², se trouve à une altitude moyenne de 124 m et compte une population de plus de 758 401 habitants (ANAT, 2006) ce qui correspond à une densité moyenne de 35 habitants/km². La wilaya comprend 12 Daïra⁶¹ et 33 communes. 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, à l'Est par la wilaya de Tébessa, à l'Ouest par la wilaya de Djelfa, au Sud par les Wilayas d'El Oued et de Ouargla (Fig.6).

⁶¹ La daïra est une subdivision de la wilaya dans l'administration territoriale algérienne, elle regroupe plusieurs communes. Elle a comme tâche l'émission des passeports internationaux, les permis de conduire et les cartes d'identité nationales pour les citoyens résidant dans son territoire, ainsi que le contrôle des travaux effectués par les différents services administratifs tels que les communes, les services techniques, etc.

3.1.2 Situation géomorphologique

La région de Biskra constitue une partie de la transition entre le domaine atlasique plissé du Nord (Atlas Saharien) et les étendues plates et désertiques du Sahara. Ces derniers caractérisés en particulier par les régions très plates correspondant au grand Erg occidental et oriental, au plateau du Mzab, du Tadmâit, du Tinrheret ainsi qu'à la région relativement déprimée du Gourara, du Touat, du Tridklet, du sud- Tihert... etc (Busson et Cornée, 1989 in Sedrati, 2011). Biskra correspond au bassin mésozoïque⁶² Saharien. Conventionnellement limité au Nord par la flexure Saharienne, vers le Nord- Est par les accidents de Djeffara maritime tunisienne et interrompu vers le Sud et vers l'Ouest par des limites d'érosion qui prouvent que l'extension originelle était plus grande que l'extension résiduelle (Sedrati, 2011). D'une manière générale, la région de Biskra est composée de quatre éléments géomorphologiques divers: les montagnes, les plaines, les plateaux et les dépressions.

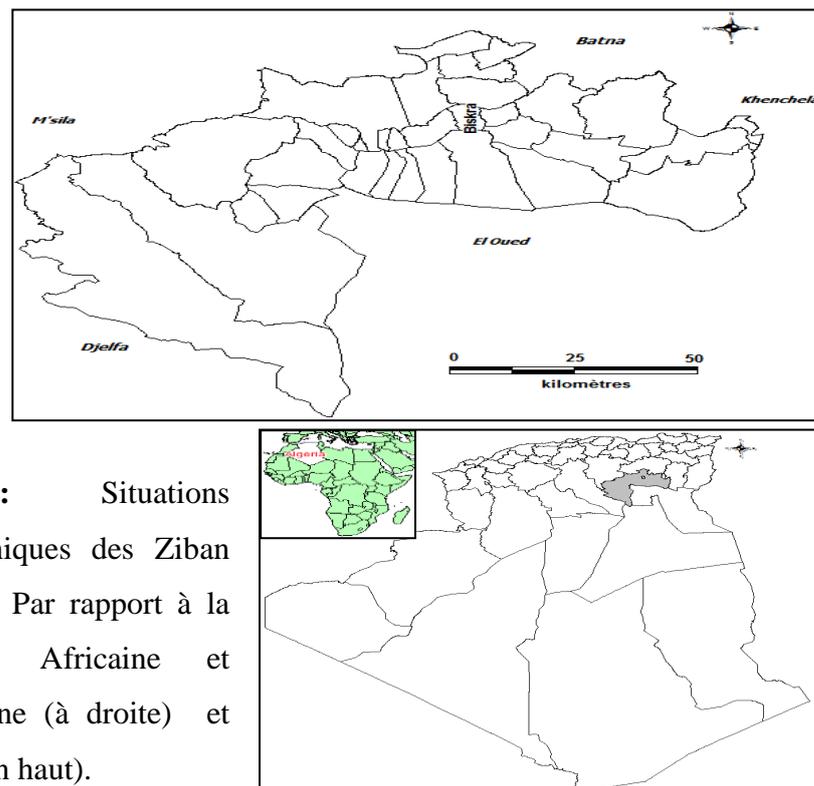


Figure 6: Situations géographiques des Ziban (Biskra). Par rapport à la situation Africaine et Algérienne (à droite) et locale (en haut).

⁶² Qui se subdivise en trois grands systèmes géologiques trias, jurassique et crétaé.

3.1.3 Données physiques de base

3.1.3.1 Pédologie

Les sols de la région de Biskra sont hétérogènes mais relèvent des mêmes catégories rencontrées dans l'ensemble des régions arides de l'Algérie (Halilet, 1998). Khachai (2001) et I.N.R.A.A (2006), ont défini plusieurs groupes dont 1) le groupe des sols de la région Sud, caractérisées par les accumulations salées, gypseuses et calcaires. 2) les sols des régions Est sont définies par des sols alluvionnaires et les sols argileux fertiles, 3) les sols des zones de Nord (ou zone de montagne) sont le siège de la formation des sols peu-évolués et peu fertiles. Enfin, 4) la plaine située au Nord-Ouest de Biskra où les sols argileux-sodiques (Plaine d'El Outaya) sont irrigués par les eaux fortement minéralisées.

3.1.3.2 Hydrographie et ressources en eau de surface

La wilaya de Biskra est traversée par plusieurs oueds qui constituent un réseau hydrographique simple qui ne fonctionne qu'en hiver ou pendant les pluies exceptionnelles. Ces oueds prennent naissance dans le massif des Aurès. Leur importance dépend des bassins versants qu'ils drainent (Brinis, 2011).

Les oueds les plus importants sont; Oued El-Hai sur lequel est construit le barrage Fontaine des Gazelles, Oued Abdi qui forme avec le précédent, Oued Biskra. Oued El-Arab (sur lequel est programmé un barrage) et Oued Kattane qui forment l'Oued Zeribet. L'Oued Abiod sur lequel est construit le barrage Foug El-Kharza (ou Foug El Gherza). Nous citons enfin l'Oued Djedi qui constitue le collecteur naturel de tous les oueds de l'atlas saharien dans la région. Il draine un bassin versant de 26000 Km² et atteint 500 Km de longueur.

Brinis (2011) rapporte qu'un volume mobilisé de 22 millions m³ des eaux de surface (représentant 2,64 % des 832,92 millions de m³ total mobilisés) proviennent de deux barrages destinés à l'irrigation celui de Fontaine des gazelles et celui de Foug El-Kharza, ce dernier assure l'irrigation de 130000 palmiers du côté de Sidi-Okba.

- **Oued El Abiod**

C'est un Oued temporaire, situé à l'Est de l'Algérie. Il se localise dans le versant sud de la partie orientale de l'Atlas Saharien. Il prend sa source dans les « Aurès » aux mont Chelia (2328 m) et Djebel Ichmoul (2071 m) dans la région de Batna. Son embouchure est le barrage de Foug El Gherza dans la région de Biskra (Fig.7). Après le barrage, il traverse les palmeraies de Sidi Okba et Ain Naga puis se déverse dans l'oued Djeddi avant d'arriver au

Chott Melghir (Hafiane et al., 2013). C'est l'oued le plus important du massif de l'Aurès. Entre 1950 et 1960, l'apport moyen était de $21,5 \text{ Mm}^3/\text{an}$, de 1972 à 1994, le débit moyen a été de $11,7 \text{ Mm}^3$ ($0,37 \text{ m}^3/\text{s}$). Il est équipé depuis 1950 du barrage de Foug el Gherza. Actuellement, le colmatage par les alluvions limite la capacité du réservoir à 21 Mm^3 et ne permettrait plus que d'irriguer quelques centaines d'hectares de céréales et de palmiers, principalement ceux de Sidi Okba (Ould Baba Sy, 2005).

- **Barrage de Foug El Gherza**

Le projet de modèle de barrage a été conçu en 1946 par le Laboratoire algérien d'hydraulique (Neyrpic). L'achèvement de la phase de construction est de 1952 (Hocini & Moulla 2005). Le barrage de Foug El Gherza est une voûte mince en béton qui collecte une surface de $1\,300 \text{ Km}^2$ le long d'Oued El Abiod, il reçoit un volume moyen de $22,2 \text{ Mm}^3$, conçu pour contenir 47 Mm^3 . Ses eaux sont destinées essentiellement à l'irrigation (oasis de Sidi Okba). Les précipitations exceptionnelles du début de l'année 2004, l'ont entièrement rempli au profit des agriculteurs des Oasises de Sidi Okba, Seriana, Garta et Thouda dans la wilaya de Biskra, qui ont une réserve qui avoisine actuellement, les 15 Mm^3 (Sedrati, 2011).

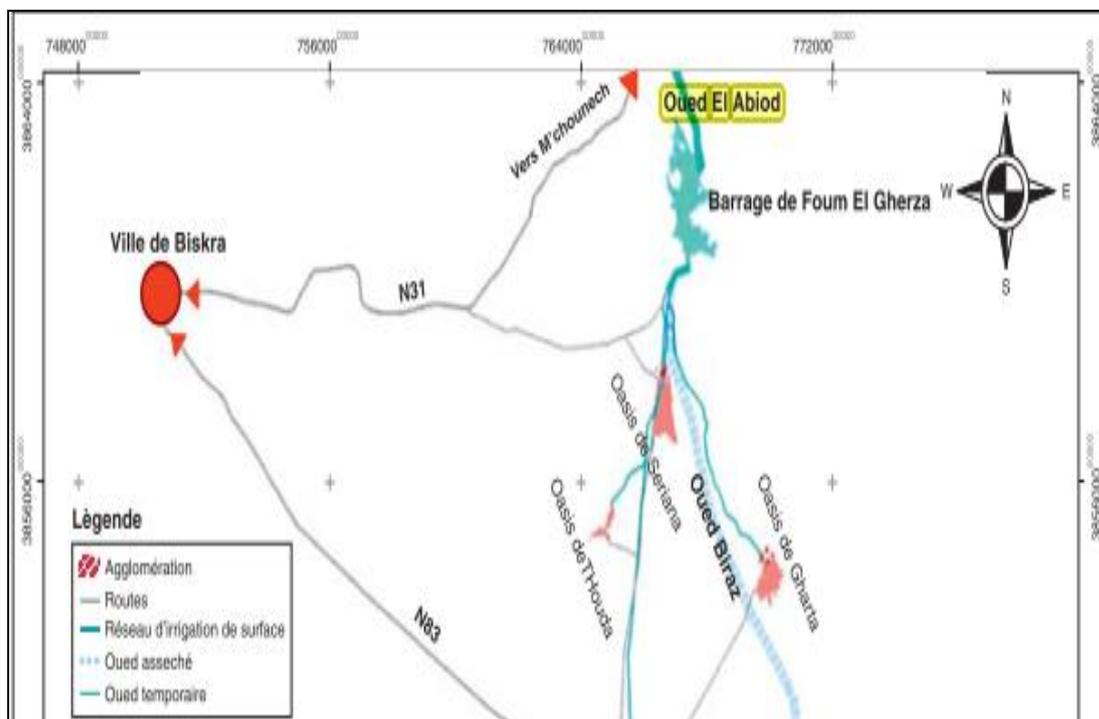


Figure 7 : Localisation de Oued El Abiod et du barrage de Foug El Gherza (d'après Hamamouche et al., 2015).

Le massif où se fonde le barrage se compose de dépôts néogènes d'un calcaire maestrichtien karstique fissuré relativement épais de Djebel Guechrich, et que l'on peut suivre le long de la rive gauche de Oued El Biraz en direction de Seriana (Hocini et Moulla, 2005, Chebbah, 2007) où trois principaux aquifères sont présents : 1. L'aquifère phréatique alluvial qui est contenu dans les dépôts alluviaux et est rechargé par la précipitation et l'infiltration du lit de la rivière et des canaux d'irrigation. 2. Le Miopliocène (nappe des sables) et 3. L'aquifère de carbonates Senonien-Eocène. Les deux derniers aquifères sont plus profonds et sont tous deux encore artésiens à certains endroits.

Hocini et Moulla (2005) reportent au niveau du barrage que la première opération a immédiatement produit des fuites à la partie aval. Depuis, la fuite s'est maintenue et la perte d'eau maximale (20,7 Mm³) a été enregistrée de 1981 à 1982. Les fuites de la rive gauche sont visibles et présentent un débit assez faible collecté dans un petit canal d'irrigation qui suit le lit de la rivière vers les zones irriguées. Les fuites de la rive droite s'écoulent par un réseau de drains à deux rangées et sont collectées dans une galerie d'irrigation. Une étude dans les années 60 a estimé les pertes entre 2 et 10 Millions de m³ (Labadi & Achour 2011). Tout comme les eaux des lâchers du barrage de Fom El Gherza, les eaux des fuites du barrage sont destinées à l'irrigation (Hamamouche et al., 2015).

- **Chott Melghir**

Chott Melghir est la plus importante dépression localisée dans la partie Sud-Est de la wilaya de Biskra qui se trouve à -35 m au-dessous du niveau de la mer et qui a une superficie de 551 500 hectares (DGF, 2003). Il s'agit de terrain argileux où se déversent les eaux des Oueds venant du Nord (Brinis, 2011). Comme étant l'exutoire de l'ensemble des eaux de surfaces dans le bassin de Melghir, le Chott reçoit les eaux des principaux Oueds suivants : A l'Est, Oued El Arab, principal Oued de la zone et Oued El Haguef, au Nord, Oueds El Abiod et Biskra qui se jettent dans l'Oued Djeddi au lieu dit Sâada, à l'Ouest, Oued Djeddi.

3.1.4 Synthèse climatique

La région de Biskra est caractérisée par un climat aride, avec des hivers froids et secs et des étés chauds et secs (Côte, 1979). Les températures sont relativement élevées durant 5 mois à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne au cours de cette

période chaude est de 30.81°C (moyenne sur 40 ans⁶³). Les pluies sont rares et la moyenne interannuelle des précipitations est de l'ordre de 200 mm. Par ailleurs, la couverture végétale dans cette région est très faible et la surface couverte ne dépasse pas 5% de la surface totale. De ce fait, l'évaporation potentielle est considérable et son taux moyen est estimé à 2600 mm/an. Cette région est considérée comme une zone aride et se trouve parmi les régions les plus menacées par la désertification (Masmoudi, 2009).

- **Risque d'inondation**

La région de Biskra a connu des pluies exceptionnelles qui ont provoqué des inondations en 1969, 1979, 1989, 2001 (ANAT, 2003) et 2009. Pour le dernier cas, Hafnaoui et al. (2013) rapportent que la commune de Doucen a été marquée par un événement exceptionnel de précipitation (60 mm en 48 heures sur un total annuel estimé à 82 mm) enregistré les 11, 12 et 15 Septembre 2009. Ce volume d'eau, inhabituel pour la région, a été un facteur déterminant dans le débordement de l'Oued Tamda (Fig.8), ce dernier est l'un des principaux Oueds traversant la région de Doucen avec celui d'Oued Khafoura et Oued Doucen (Hafnaoui et al., 2009). Selon l'inventaire de la commune de Doucen, les dégâts causés par les inondations de 2009 sont estimés à: 164 maisons submergées, 9790 palmiers, 744 serres (≈30ha) et 200 hectares de différentes cultures (Commune de Doucen, 2009 in Hafnaoui et al., 2013).

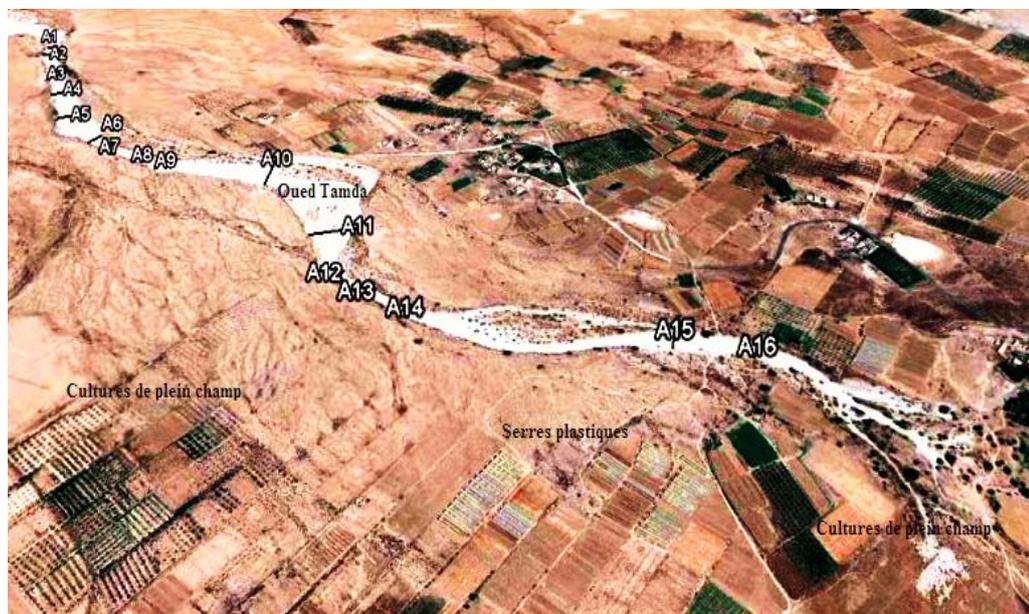


Figure 8 : Oued Tamda (Commune de Doucen) selon Hafnaoui et al., 2009 modifié.

⁶³ (1973-2014)

3.1.4.1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Ce diagramme permet de définir les périodes sèches et humides d'une région donnée. La sécheresse s'établit lorsque la pluviométrie mensuelle (P) exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne mensuelle (T) en degrés Celsius ($P < 2 T$) (Dajoz, 1985). Nous avons établi le diagramme ombrothermique moyen pour la période [1973-2014] (Fig.9) qui montre une sécheresse sur toute l'année.

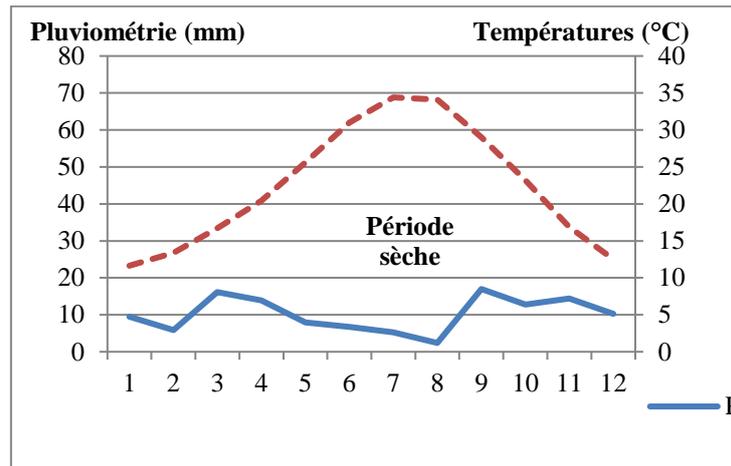


Figure 9 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région de Biskra (Période 1973-2014).

3.1.4.2 Climagramme d'Emberger

Dans le climagramme d'Emberger nous arrivons à situer la région de Biskra dans l'étage bioclimatique Saharien à hiver entre doux et chaud (Fig.10).

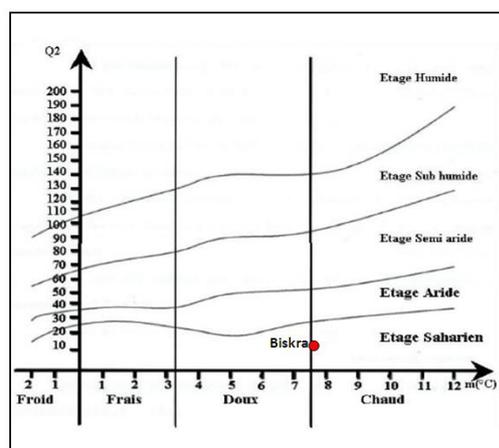


Figure 10 : Projection de la région de Biskra sur le climagramme d'Emberger.

- **Les vents :** Deux types de vents sont fréquents durant l'année : les vents du Nord qui soufflent pendant l'hiver d'une vitesse pouvant atteindre 150 km/h (le maximum de

forces des vents est enregistré en hiver et au printemps) avec un taux d'humidité maximum de 85% (Masmoudi, 2009) ; les vents du Sud et du Sud-Ouest « Siroccos » caractérisés par l'entraînement des sables qui soufflent durant le printemps et l'été, les vents de sable sont fréquents en Mars, Avril et Mai. Le vent par sa force et sa direction peut jouer un rôle important dans le transport des polluants.

3.1.5 Lithostratigraphie

La région de Biskra se caractérise par des terrains sédimentaires allant du Quaternaire au sommet jusqu'au Barrémien à la base le tableau ci-dessous (Tab.9) indique les différentes unités géologiques ainsi que leur importance hydrogéologique.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations dans le secteur étudié montre que parmi les formations susceptible d'être aquifères et présente un intérêt hydrogéologique sont représentées essentiellement par :

- Les sables, argiles et poudingues⁶⁴ du Quaternaire correspondant à la nappe superficielle.
- Une alternance d'argiles, de sables et de cailloutis attribuée à la nappe des sables du Continental Terminal correspondant au Miopliocène (Sedrati, 2011).

Tableau 9 : Principales unités lithostratigraphiques aquifères dans les Ziban.

Unités lithologiques	Unités stratigraphiques	Unités hydrogéologiques
Sables , Argiles	Quaternaire	Nappe phréatique
Sables et Argiles	Mio-Pliocène	Nappe des sables
Argiles gypseuses	Eocène moyen	Semi perméable
Calcaires	Eocène inférieur	Nappe des calcaires
Calcaires	Sénonien supérieur Campanien	Nappe des calcaires
Argiles, gypse, sels	Sénonien inférieur	Imperméable
Calcaire dolomitique et Dolomie	Turonien	Nappe du turonien
Argiles, marnes, Marno-calcaires et gypse	Cénomaniens	Imperméable
Calcaire Marnes, Grès	Albien	Nappe du continental
Grès, Dolomies	Aptien	Imperméable
Grès	Barrémien	Nappe du continental

⁶⁴ Les poudingues sont des roches sédimentaires qui sont constituées de galets liés entre eux par un ciment.

3.1.6 Hydrogéologie

Brinis (2011) rapporte qu'un volume de 810,92 millions m³ (97,36%) des eaux souterraines est mobilisé au niveau de la wilaya de Biskra ce présente des ressources en eau souterraines importantes, représentées par quatre unités aquifères qui sont respectivement :

- La nappe phréatique du Quaternaire ;
- La nappe des sables du Mio-pliocène (Complexe Terminal : CT) ;
- La nappe des calcaires de l'Eocène inférieur et du Sénonien (CT) et
- La nappe des grès du Continental Intercalaire (CI).

Tabouche & Achour (2004) en étudiant la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien (dont Biskra) signalent des caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude globalement médiocres avec des valeurs non-conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du complexe terminal). Aussi les teneurs en Fluor dans ces deux nappes dépassent dans tous les cas la norme de potabilité. De même ces auteurs notent un excès en concentration des nitrates dans la quasi-totalité des forages testés (nappe phréatique et nappes du complexe terminal). Aussi, des teneurs anormalement élevées de métaux tels que le Mn et le Cu. Tous ces éléments semblent indiquer que les eaux souterraines de la région de Biskra sont exposées à diverses pollutions de différentes origines, ces pollutions étaient beaucoup plus marquées d'après les mêmes auteurs dans la nappe phréatique et celle des sables.

Pour les besoins de ce travail, seules les deux premières nappes seront considérées à savoir, la nappe phréatique et celle des sables.

3.1.6.1 La nappe du Quaternaire

Cette nappe qui se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires est alimentée essentiellement par les précipitations et l'infiltration des eaux d'irrigation (Drouiche et al., 2013) et celles des Oueds (inféoflux) ; Les plus importantes dans la wilaya, sont celles de l'Oued Biskra et de l'Oued Djeddi.

La profondeur de cette nappe est comprise entre 20 et 150 m. les débits extraits à partir de cette nappe qui avoisinaient 3,2 m³/s en 2000, ont montré une baisse en 2008 en atteignant 2,09 m³/s, du fait d'un rabattement et d'un assèchement des puits la captant (Sedрати, 2011). Cette nappe qui présente l'unique ressource des régions d'Ouled Djellal, Sidi Khaled et de la

ville de Biskra, est, vu sa faible profondeur, trop sollicitée pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

3.1.6.2 La nappe des sables du Mio-Pliocène

Constituée par une alternance de niveaux d'Argile, Sable, et Cailloutis d'âge Mio-pliocène, cette aquifère couvre une grande superficie de la wilaya. Cette nappe est fortement exploitée dans la partie Est de la wilaya, notamment dans les zones de Sidi Okba (Garta, El Hamrra, El Malah,...)⁶⁵, Ain Naga (Mansouria, Mebdouâa, Mansef,...), M'zirâa (Bghila, Oued El Hagf, Bouatrousse,...) et Chetma, sa limite naturelle Ouest réside entre Doucen (Douice, Boumelih, M'Guitla,...) et Ouled-Djellal mais elle est aussi captée à El Ghrous (Ghaiada, Elamri et Draa Lamri) et à Lioua (Draa Rmal, Marmoutha, Ghmigie,...). Du point de vue hydrodynamique cette nappe présente un système très hétérogène car elle est constituée par des couches de diverses perméabilités. La profondeur de cette nappe varie de 100 à 300 m, avec un débit moyen de 15 l/s. L'écoulement de cette nappe se fait du Nord-Ouest vers le Sud-Est pour déboucher au chott Melghir. L'alimentation de la nappe est assurée par les nombreux accidents de bordure et par infiltration des eaux de crues des oueds (El Abiod, Guerchich, El Arab) (Messameh et al., 2009) et les pluies exceptionnelles dans les zones d'affleurement (Labdi, 2016).

3.2 Agriculture

Historiquement les Ziban (Biskra), sont connus par trois principales activités agricoles, à savoir : la phoeniciculture, l'élevage ovin et la céréaliculture (Tab.10). Dans un degré moindre, intervient la culture des plantes condimentaires et aromatiques. C'est une région à vocation agricole par excellence, car côté emploi, le secteur agricole occupait déjà fin 2006, plus de 46% de la population (ANAT, 2006). La surface agricole utile (SAU) de la wilaya est estimée à 179.000 ha ce qui représente environ 10,8% de la superficie agricole totale (SAT). Les superficies irriguées représentent environ 108,400 ha soit 60% de la SAU. Ceci souligne l'importance de la mobilisation des ressources hydriques pour l'agriculture dans la wilaya (Bouammar, 2010).

3.2.1 Plastique ou maraîchage sous abris plastique

Il y avait environ 220 000 ha de serres dans les pays méditerranéens d'après Papasolomontos et al. (2013) in GAP (2013). L'Algérie avec ses 9678 ha enregistrés en 2012 correspond à moins de 5% de cette superficie.

Il y a une trentaine d'années une nouvelle activité a fait son apparition dans le paysage agricole des Ziban. Cette activité est la culture sous abris plastiques des plantes

⁶⁵ Les parenthèses regroupent quelques noms de lieux dits où est captée cette nappe.

maraîchères. Introduite en 1984 dans la zone D'El Ghrous, elle a connu des résultats encourageants en termes de précocité et de productivité et un accroissement important en termes de superficies (Bouammar, 2010). La plasticulture s'est généralisée vers la fin des années 1990 (Daoudi, 2013). Plus de 80% de ce potentiel se localise dans les communes de Doucen, EL Ghrous et M'ziraa.

En 2007, la superficie sous abris à Biskra a été estimée à 2321 hectares, avec une production d'environ 1 332 386 Quintaux et un rendement important de 574 Quintaux à l'hectare (DSA de Biskra, 2008 in Bouammar, 2010). La wilaya de Biskra occupe actuellement la première place, au niveau national, dans la production de primeurs maraîchères (Ramdani et al., 2009; Daoudi, 2013). La wilaya de Biskra en représentant en 2012, environ 37% (ou 3581 ha) de la superficie serricole nationale et environ 43% de la production correspondante arrive en tête des principales wilayates productrices de légumes sous serres suivie par Tipaza, Jijel, Mostaganem, Chlef et Alger et enfin Blida avec respectivement (17%), (8%), (7%), (4% chacune) et (2%) de la superficie nationale.

Bouammar (2010) souligne que sous ce système de culture, l'utilisation excessive d'engrais et des eaux d'irrigation en excès (89.4% selon l'Inspection de l'environnement de la wilaya de Biskra, 2007 in Sedrati, 2011) a un impact négatif sur les sols et les eaux souterraines. Dans certains endroits, il y a donc dégradation des sols par la salinisation, dans d'autres, engorgement par la remontée de la nappe phréatique. Il ajoute que cette situation augmente aussi le risque de pollution des eaux des nappes superficielles par les pesticides et par les résidus des engrais phosphatés et azotés qui sont les plus utilisés par les agriculteurs.

3.3 La lutte anti-acridienne

La wilaya de Biskra comme toutes les wilayas du Sud algérien était et est toujours concernée par les programmes de lutte anti-acridienne. Les principaux pesticides utilisés sont : le fénitrothion (Organophosphoré), le bendiocarbe (Carbamate), le deltaméthrine (Pyréthrianoïde), la dieldrine (Hydrocarbure chloré), le triflumuron (Benzoylurée) et le teflubenzuron (Benzoylurée) (Launois-Luong, Launois et Rachadi, 1988), mais aussi des Organochlorés selon Ould El Hadj (2011). La majorité de ces matières actives sont actuellement interdites ou strictement réglementées. Selon le même auteur, au cours d'une invasion acridienne de grande envergure surtout en

milieu saharien, à la recherche d'un traitement de choc et radical même les pesticides interdits dans la plupart des pays sont utilisés d'une manière anarchique. Il est à signaler que l'acridicide « miracle » utilisé dans les wilayas du sud algérien durant les dernières invasions (2004-2005) de lutte chimique intense est une solution huileuse largement utilisée en lutte antiacridienne sous l'appellation d'alphytrine (produit par l'Algérienne des phytosanitaires). C'est un Pyréthriinoïde de synthèse ayant pour matière active la deltaméthrine à concentration de 25 g/l (Ould El Hadj, 2011).

3.4 La lutte anti-vectorielle

Les maladies à transmission vectorielle sont responsables de plus de 17% des maladies infectieuses, et provoquent plus d'un million de décès chaque année⁶⁶.

Un rapport publié par l'OMS en 1963 (OMS, 1963) évoque la résistance de 32 espèces d'anophélinés aux DDT et à la dieldrine. L'Algérie est le pays le plus touché du bassin méditerranéen et du Maghreb par la leishmaniose aussi bien cutanée que viscérale (Cherif, 2014). Le nombre de cas déclarés en Algérie en 2005 était de 30227 (Guemache, Zellegui, & Hamdi chérif, 2007). Biskra vient en tête des wilayas touchées cette année-là. La leishmaniose cutanée ou clou de Biskra (bouton d'Orient, de Gafsa, de Baghdad, d'Alep) est une maladie infectieuse parasitaire à déclaration obligatoire depuis 1979, surveillée depuis 1985. Son agent pathogène *Leishmania tropica* est transmi par un phlébotome⁶⁷ femelle. En prophylaxie contre cette transmission, Guemache, Zellegui et Hamdi chérif (2007) conseillent une aspersion large de toutes les habitations avant la fin du mois d'avril par des insecticides auxquels les phlébotomes sont très sensibles. Les principales familles auxquelles appartiennent ces insecticides sont les organochlorés, les Organophosphorés, les Carbamates et les Pyréthriinoïdes (Rorbet & Chandre 2009).

⁶⁶ (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/fr/>) consulté le 08/12/2016 à 23h.

⁶⁷ Insecte diptère hématophage de très petite taille (2 à 3 mm) qui ressemble à un petit moucheron.

Tableau 10: Données générales sur quelques zones agricoles au niveau des Ziban (ANAT, 2006) et sur les systèmes de cultures pratiqués.

Localités	Daira	Distance au chef lieu wilaya (km)	Superficie (km ²)	Densité moyenne (habitants/km ²)	SAU (ha)	Principaux systèmes de culture
M'Ziraa	Zribet El Oued	68 Est	960,80	11	6 941, dont irriguée : 4 583 (66,02%)	Plasticulture, culture de plein champ (CPC), céréales irriguées (Naouri et al., 2015).
Ain Naga	Sidi Okba	50 Est	507,80	24	25 060, dont irriguée : 11 363 (45,34%)	
Sidi Okba		18 Est	254,10	131	9 625, dont irriguée : 8 439 (87,67%)	Plasticulture, Phoeniculture, Arboriculture fruitière (en monoculture), CPC, Céréales + Elevage ovin et bovin intensif (Hamamouche et al., 2015).
El Ghrous	Foughala	50 Ouest	237,60	88	6 862, dont irriguée : 3 103 (45,22%)	Plasticulture, phoeniculture, (CPC+ arboriculture pour autoconsommation) (Bouammar, 2012).
Doucen	Ouled Djellal	83,6 Ouest	621,60	46	7 462 dont irriguée : 6 744 (90.37%)	Plasticulture, pomme de terre et de melon – pastèque, les cultures céréalières et fourragères (Bouammar, 2010). L'arboriculture (abricotier) (Benaziza, 2012). Phoeniculture, élevage ovin et bovin.
Lioua	Ourellal	59 Ouest	242,10	93	5 556 dont irriguée : 4 923 (88.60)	Plasticulture, phoeniculture, cultures de plein champ, céréales.

Conclusions

La vue d'ensemble des Ziban nous a permis de constater qu'il s'agit d'une région très diversifiée sur tous les plans physiques comme biologiques mais également très sensible vu son climat aride, les risques vis-à-vis de la salinisation, la pollution nitrique, la pollution par les métaux lourds des sols et des eaux.

Son agriculture a connue un changement radical au cours des 30 dernières années, voyant émerger la plasticulture comme système de culture innovateur rentable mais très consommateur d'intrants chimiques (engrais et pesticides) dont on ignore les conséquences sur le milieu. Aussi, cette agriculture est très dépendante des eaux souterraines non-renouvelables. La qualité diffère d'un aquifère à l'autre voir d'un point à l'autre et le risque des infiltrations et des transferts verticaux de contaminants divers depuis la surface jusqu'aux nappes n'est pas à exclure. Cependant, l'agriculture n'est pas l'unique source de contamination, elle peut être conjuguée aux apports et contribution d'autres sources comme les pesticides utilisés dans la lutte anti-acridienne et anti-vectorielle ou les usages urbains et vétérinaires. Les vents par leur force et leur direction pourraient également constituer un moyen de transport des polluants de et vers cette région. Nous pensons que la région de Sidi Okba et Ain Naga côté Ziban Est, suite aux fuites de barrage de Foum El Ghuerza aussi la région de Doucen côté Ziban Ouest cible aux inondations de Oued Tamda sont des régions à risque de contamination des sols et des eaux surtout pour les aquifères les moins profonds.

Partie II
Pratique &
Expérimentations

Chapitre 1

Enquêtes usages et pratiques phytosanitaires

Introduction

L'introduction des pesticides dans le milieu est due en premier lieu aux pratiques agricoles de la filière, raison pour laquelle dans le présent chapitre nous allons étudier le fonctionnement du système de production représenté par le maraîchage sous serres plastiques. Après avoir démontré l'importance qu'il occupe au sein de la wilaya de Biskra (Ziban), une attention particulière sera dédiée aux pratiques et usages de phytosanitaires. Le système de production sous serre dans des conditions arides et semi-arides implique la combinaison de l'irrigation, de la fertilisation, des additifs organiques (fumier) et des pesticides. C'est cette combinaison qui peut conduire, à une contamination environnementale si elle est mal gérée (Licciardello et al., 2011a) d'où l'importance d'étudier chacun des facteurs susceptibles d'intervenir dans la pratique.

1.3 Matériels et méthodes

Afin d'acquérir un maximum d'information sur le système serricole (plasticulture) en général et les pratiques phytosanitaires en particulier, nous avons mené des enquêtes par entretien et questionnaires en face à face avec différentes parties liées au domaine agricole, hydraulique, protection des végétaux, etc. La figure 11 illustre le schéma récapitulatif des différentes parties enquêtées. De plus, par crainte de passer à côté d'usage de phytosanitaires illicites, l'observation directe des emballages de pesticides lors des différentes sorties a été pratiquée comme méthode d'acquisition de données complémentaires.

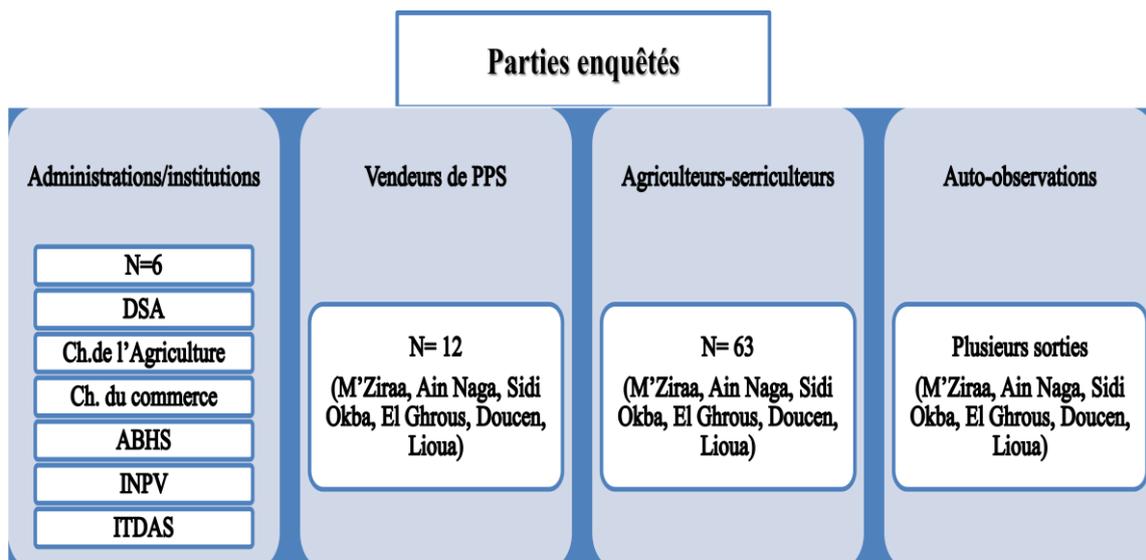


Figure 11: Schéma récapitulatif des différentes parties enquêtées et des auto-observations.

1.3.1 Enquête auprès d'institutions liées au domaine agricole

Des visites programmées ont été menées durant les années 2012, 2013 et 2014 aux seins de :

- **La Direction des services agricoles (DSA)** pour des données concernant les superficies, les productions et les rendements serricoles des cultures maraîchères sous abris-serres;
- **La Chambre d'agriculture** pour le nombre de serriculteurs enregistrés ayant une carte fellah en tant que tel et leur distribution au sein de la wilaya ;
- **L'Agence du Bassin Hydrographique du Sahara (ABHS)** pour le recensement des ressources en eau au niveau de la wilaya (types, usages) et leurs localisations;
- **La Chambre du commerce** pour le nombre recensé de vendeurs-grainetiers de produits agricoles dont produits phytosanitaires et leur importance par localité;
- **L'Institut National de la Protection des Végétaux (INPV)** pour les produits phytosanitaires qu'il distribue, pour les Index de produits phytosanitaires, types et quantités insecticides utilisés (stockés ou périmés) en lutte anti-acridienne, localisation des zones d'épandages et périodes de ces derniers ;
- **L'Institut Technique de Développement de L'Agriculture Saharienne (ITDAS)** pour les référentiels, guides et fiches techniques agricoles mis à la disposition des Fellahs surtout ceux concernant la conduite des cultures sous abris-serre.

Ces différentes institutions ont été choisies en fonction du rôle qu'elles jouent dans le développement de l'agriculture, dans son suivi et dans ses orientations.

1.3.2 Enquête auprès des vendeurs de semences et d'intrants chimiques

La nécessité de cette enquête est née du fait que les vendeurs de produits phytosanitaires nous semblaient les plus aptes à fournir une liste d'ensemble des matières actives les plus vendues. De plus cette méthode avait été utilisée par Ramdani et al. (2009) pour la détermination des spécialités insecticides, fongicides, etc auprès de deux vendeurs de PPS localisés aux communes de Tolga et de Sidi Okba (Biskra). Benaboud et al. (2014) avaient également mené une enquête auprès de 6 sociétés de vente de pesticides implantées dans la région de Berkane (Nord-Est du Maroc), parmi les principales questions posées figure celle concernant les noms commerciaux des produits chimiques vendus et leurs quantités. Pour notre part, plusieurs approches furent entreprises :

Un suivi des quantités vendues en matières actives par les agriculteurs pour le traitement des cultures sous serres, s'est déroulé au mois d'Avril 2012 (fin cycle agricole). Il cherche à quantifier les ventes de matières actives/ mois auprès d'un grainetier situé à M'Ziraà (le seul qui s'est engagé et accepté de le faire). Ce suivi a été réalisé à l'aide d'une grille de notation comprenant les noms des SA et/ou produits commerciaux à signaler en lignes et les quantités à signaler chaque jour du mois (du 01 au 30 avril) en colonnes.

Une deuxième enquête-vendeurs PPS conduite en Mai et Juin 2013, s'est faite auprès de 5 grainetiers situés à : Ain Naga (1), à M'Ziraà (1) et à Doucen (3). Cette enquête visait à cerner les principales substances actives en usage en plasticulture d'après les avis (donc vente) des vendeurs de PPS, qui n'ont fait que citer les noms des substances actives sans classement.

Au mois de Novembre 2013, la même liste de substances actives (établie par la deuxième enquête) a été fournie à six autres vendeurs (1/commune), dont trois localisés au Zab Est (M'Ziraà, Sidi Okba et Ain Naga) et trois autres au Zab Ouest (El Ghrous, Doucen et Lioua). Ils classent les substances par ordre d'importance par rapport aux quantités vendues sur toute l'année agricole.

1.3.3 Enquête auprès d'agriculteurs

Une enquête plus complète concernant non seulement les pratiques phytosanitaires en milieu serricole mais toutes les pratiques agricoles s'est déroulée sur l'année agricole 2013/2014 et s'est poursuivie jusqu'en 2014/2015 par l'intermédiaire de l'outil « Questionnaire » et ce pour établir les liens qui existent et pourraient interférer avec les pratiques et usages phytosanitaires.

1.3.3.1 Présentation de l'échantillon

L'échantillon enquêté était constitué de 63 agriculteurs-serriculteurs représentant 61 exploitations (parfois plusieurs enquêtés sur une même exploitation) choisis au hasard dans 6 communes détenant les plus importantes superficies serricoles représentant le Zab Est par les localités de M'Ziraà (MZ), Ain Naga (AN), Sidi Okba (SO), et le Zab Ouest par El Ghrous (EG), Doucen (D) et Lioua (L) représentées par 11, 14, 9, 8, 11 et 10 enquêtés respectivement. Parmi ces agriculteurs, 6 agriculteurs (1/commune) seront encore sélectionnés au hasard pour faire une caractérisation ainsi qu'une évaluation après analyse de l'état de contamination par les phytosanitaires des sols et des eaux au sein de leurs exploitations.

Nous allons voir par la suite que ces 63 agriculteurs représentent plus de 5% de la population de serriculteurs déclarés par les services de la Chambre de l'agriculture.

1.3.3.2 L'outil « Questionnaire »

L'outil « Questionnaire » structuré sous forme de tableaux ou grilles comprend des questions fermées et directes (Annexe3) qui visent à renseigner les diverses pratiques agricoles dont les usages des phytosanitaires. Ces derniers sont des importants facteurs de production dans ce système de culture intensif. Baptisé « Cahier de l'Agriculteur » par la Directrice du CRSTRA⁶⁸ il est tenu par l'agriculteur pour y enregistrer des données concernant son exploitation et peut servir à ce dernier mais aussi à d'autres parties (gestionnaires, chercheurs, étudiants, politiciens, exportateurs) et à différentes fins (apport d'information, évaluation d'une politique agricole, exportation, ...). La première version du « Questionnaire » comptait 48 pages simplifiée en 16 pages élaborée d'abord en langue française et traduite en langue arabe avec des termes simples (en utilisant parfois un vocabulaire local, ex. noms des ravageurs et maladies des cultures) pour pouvoir être renseignés par les agriculteurs-serristes du réseau d'exploitants. Au total un nombre important d'environ 172 questions a été posé. Seules les données issues des réponses au questionnaire en étroite relation avec le thème de la présente étude et pouvant enrichir et/ou argumenter les différents résultats analytiques vont être abordées. Les questions concernant les pratiques et usages phytosanitaires étaient les suivantes :

1. Le/les nom(s) du/des(s) produit (s)phytosanitaire(s) utilisé (s) et/ou des substances actives correspondantes ainsi que l'adéquation produits-cible qu'on a vérifié à l'aide des informations sur produits fournies par l'index phytosanitaire 2007 ;
2. La dose appliquée du dit produit par serre (ou quantification des apports) ;
3. Les fréquences de son/leurs usage (s) par spécialité durant une campagne et/ou année agricole ; La dose et la fréquence vont servir à la quantification des apports de pesticides (ou SA)/ha/année.
4. La période/saison des apports pour établir les calendriers des traitements ;
5. Le coût des produits phytosanitaires ;
6. Les raisons de choix des produits phytosanitaires ;
7. Les moyens d'auto-protections lors des traitements ;
8. La gestion des restes de cuves ;
9. La gestion de l'eau de rinçage des citernes.
10. La possession et le type du matériel de traitement phytosanitaire.

⁶⁸ Centre de recherche Scientifique et Technique sur les Régions arides.

Notre enquête étant ciblée sur les objectifs liés aux traitements phytosanitaires, toutes ces questions et rubriques visaient à 1) Décrire le système serricole et sa fonctionnalité au niveau des Ziban ; 2) Qualifier/identifier les pesticides et Quantifier leurs apports et 3) Etablir les liens qui pourraient exister entre toute autre pratique agricole et les pratiques et usages phytosanitaires.

1.3.3.3 Déroulement de l'enquête

L'enquête s'est déroulée sur deux campagnes agricoles 2013/2014 et 2014/2015 mais principalement sur la première campagne. Entre 1 et 3 heures étaient nécessaires pour renseigner le questionnaire selon la disponibilité des agriculteurs, ce qui limite la population d'agriculteurs.

1.3.3.4 Codage et saisie des variables

Les 172 questions/réponses ont été codées en 272 variables : 84 qualitatives (nominales) et 188 quantitatives (125 numériques et 63 ordinales).

1.3.3.5 Analyses statistiques

Le traitement des données de cette enquête a été réalisé grâce au logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 20.0 et au logiciel XLSTAT version⁶⁹ 2015.4.01.

1.3.3.5.1 Analyses descriptives (uni-varié)

Ces analyses uni-variées dites « descriptives » visent à décrire le milieu serricole en général et les différentes pratiques qui s'y attachent et qui sont entreprises par les différents agriculteurs des différentes communes. La description des habitudes et usages phytosanitaires est comparée aux référentiels locaux, nationaux et internationaux. Ces analyses ont été réalisées grâce au logiciel SPSS.

1.3.3.5.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

La CAH est une technique exploratoire (sans considérer d'hypothèse particulière à valider au préalable) d'analyse de données multivariées qui implique une réduction de la dimensionnalité de jeux de données volumineux rendant leur exploration plus facile. Elle est réalisée grâce à XLSTAT.

⁶⁹ Version d'essai.

L'objectif étant d'essayer de trouver une classification ou une typologie des exploitations (les observations) selon plusieurs variables, au total 12 variables fut choisies (celles jugées discriminantes): 4 quantitatives et 8 qualitatives recodées pour être numériques (annexe 4) et qui sont : 1. la superficie sous serre (SSS), 2. Le type de fumure organique utilisée (Fm_tp), 3. le nombre de substances actives totales déclaré (Nbr_SA_T), 4. Le nombre de traitement pesticides total (Nbr_trt_pes) déclaré, 5. Le nombre d'années qu'une serre-tunnel occupe le même emplacement (Ocp_ser), 6. Les communes (Comm), 7. Les origines des agriculteurs (Orig), 8. le statut de ces derniers (Stat) 9. Font-ils ou pas de rotation (Rot), 10. Quelle était la culture principale qui occupe le plus important nombre de serre (Cult_prn), 11. quel est le mois durant lequel ils transplantent (Moi_rpqg ou de plantation), et 12. pratiquent-ils oui ou non le paillage sur sol sous serre (Plg) (Fig.12).

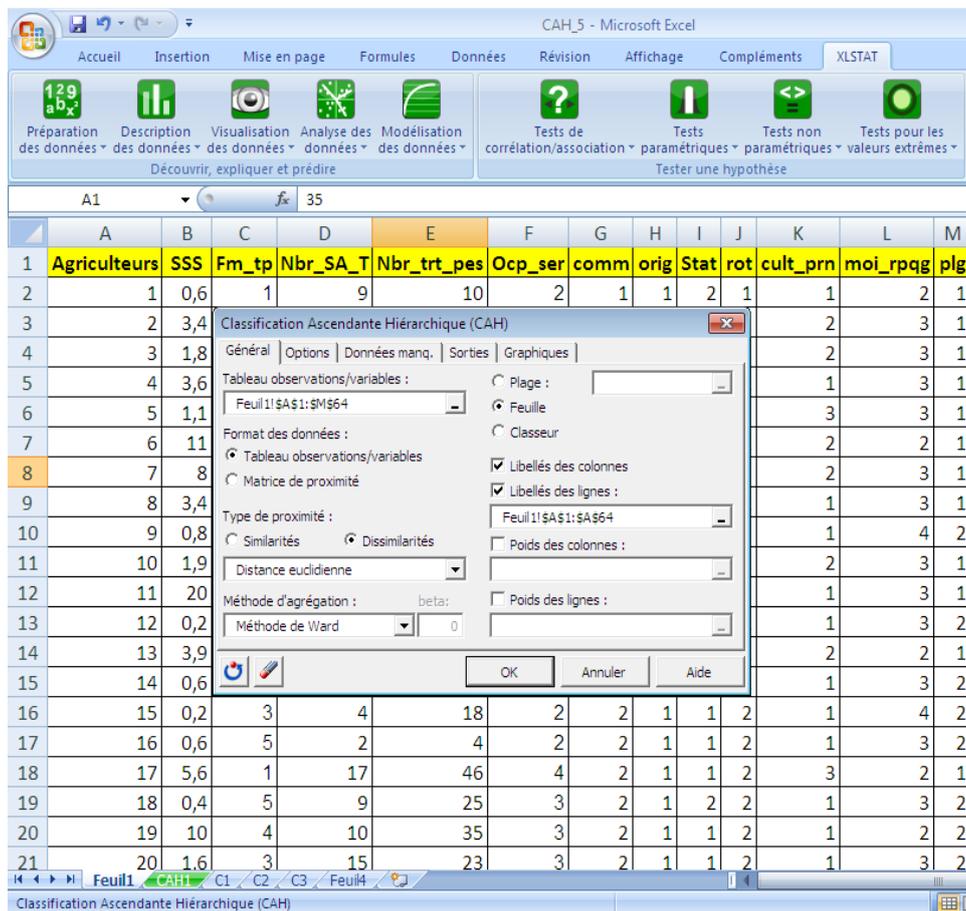


Figure 12 : Application de la CAH selon la méthode de Ward sous XLSTAT.

La méthode dans la classification ascendante hiérarchique (CAH) choisie pour notre cas est celle de Ward ; une méthode reposant sur un critère d'optimisation. Selon Gilbert Saporta, (1990) in Brinis, (2011), elle constitue la meilleure méthode de classification hiérarchique sur

données euclidiennes car le classement est jugé assez naturel. Elle consiste à classer "n" variables et "p" observations; telle que chaque observation comporte n variables mesurables. Les éléments à classer sont des vecteurs, et l'ensemble qu'ils constituent est muni d'une distance euclidienne : on peut alors construire une matrice des distances entre les variables et les observations. On définit ensuite un critère d'affectation ou « d'inertie » de regroupement de ces vecteurs, c'est à dire une règle de calcul des distances entre les groupements disjoints de variables ou observations. Les deux groupements dont la distance est la plus faible (selon ce critère) se réunissent alors, et on itère le processus jusqu'à regroupement complet des classes. On peut représenter la classification ascendante hiérarchique par un arbre, appelé dendrogramme ou arbre de classification. Nous avons utilisés cette classification à la fois pour les variables et pour les observations, il faut signaler que le logiciel suppose que les unités de toutes les variables sont identiques.

1.3.4 Auto-observation-approche « Photos »

Tout au long de nos sorties de terrain, nous avons pris des photos d'emballages vides dispersés près des serres, jetés à même le sol ou dans des fosses ou bien transportés par le vent ou encore partiellement utilisés et stockés dans une partie des serres.

1.4 Résultats et discussion

1.4.1 Données à partir d'institutions liées au domaine agricole

Les résultats des données d'enquêtes vont être discutés dans le même ordre que celui de matériel et méthodes.

1.4.1.1 Direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Biskra

La Direction des Services Agricoles (DSA) fait partie des administrations territoriales du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural Algérien, elle a pour tâches essentielles le développement de l'activité agricole en particulier dans le sens de l'augmentation et l'amélioration des potentialités existantes.

Les entretiens effectués au sein de la DSA ont permis de connaître les débuts timides de la sericulture dans la wilaya de Biskra qui remontent au début des années 80 avec seulement 6 serres dans la ferme-pilote « Driss Omar » (commune d'El Outaya) qui ont connus un grand succès. Les données acquises par les services de la DSA ont permis aussi de cerner les

principales zones de production en cultures protégées ainsi que les principales cultures maraîchères pratiquées :

- ***Superficies en cultures sous serres tunnels (400m²)***

Selon la Direction des Services agricoles (2013), la wilaya de Biskra totalisait en 2011/2012 une superficie en cultures protégées avoisinant les 3550 ha avec une production correspondante dépassant les 2,6 millions de quintaux. Les principales communes qui pratiquent le maraîchage sous abris-serres et sur la base des superficies sont : **El Ghrous** (680 ha), **Ain Naga** (554 ha), **Doucen** (363 ha), **Sidi Okba** (277 ha), **Lioua** (253 ha), **Tolga** (236ha), **M'Ziraa** (176 ha).

- ***Superficie en cultures sous grandes serres***

Les grandes serres d'1 à 1.5 ha sont constituées des multichappelles et des canariennes (dites parfois « Almeria ») et totalisent au minimum 25 ha recensés dans le Zab Est exclusivement. Environ 65% de ces superficies en grandes serres se localisent à M'Ziraa, 22% à Sidi Okba, environ 11% à Ain Naga et seulement 2% et presque 1% à Chetma et El Haouch respectivement.

- ***Principales cultures pratiquées***

En termes de superficie, les principales cultures qui se pratiquent sous serres sont : la tomate (46%), le piment (24%), le poivron (19%), (l'aubergine, la courgette, le concombre et le melon compte pour entre 3 et 4% par espèce)

La tomate occupe la surface la plus importante parmi les cultures maraîchères pratiquées, suivie du piment et du poivron et ce, pour les différentes campagnes (de 2007 à 2012). En 2011/2012, la superficie plantée réunie pour ces trois spéculations à savoir : tomate, piment et poivron représentait les $\frac{3}{4}$ (environ 78%) de la superficie totale plantée en cultures maraîchères sous serre-tunnel alors qu'elle occupait en 2010/2011 presque 90% de cette superficie totale. Pour la même campagne (2011/2012), la superficie de ces mêmes trois espèces totalisait les 100% de la superficie plantée sous grandes serres.

- ***Rendements des principales cultures maraîchères sous abris-serres***

Le rendement moyen pour la tomate est passé de 690 qx/ha durant la campagne 2007/2008 à plus de 1100 qx/ha durant celle de 2010/2011. De même pour le piment et pour les mêmes campagnes, le rendement a presque doublé en passant de 345 qx/ha à 621 qx/ha ; enfin, pour le rendement en poivron, ce chiffre est passé de plus de 368 qx/ha à plus de 541 qx/ha. Cette augmentation est causée par l'augmentation des

superficiés mais aussi par l'augmentation d'usage des intrants chimiques (engrais et pesticides).

1.4.1.2 **Chambre d'agriculture**

Créées en 1991, chaque chambre d'agriculture assure la représentation globale de la profession, elle est en charge de la coordination, de l'information et de l'échange entre les membres et entre ceux-ci et les institutions publiques ou privées dont les activités sont en rapport avec l'agriculture. Elle participe à organiser la profession agricole, à mettre en œuvre des programmes de formation à l'adresse des agriculteurs et des éleveurs, à faciliter la diffusion de l'information scientifique, technique et économique, elle met en place une base de données des exploitations agricoles et constitue des centres d'information et d'animation destinés aux agriculteurs et aux opérateurs économiques.

Les données recueillies auprès de la chambre d'agriculture de Biskra fin 2012, classent la phoeniculture au premier rang avec 39% de l'activité principale mentionnée sur la « carte Fellah » suivie par les éleveurs d'ovin (21%), la Mise en valeur des terres pour l'agriculture (MEVA)(19%), les céréaliculteurs (9.5%), le maraîchage de plein champs (4%) vient ensuite la serriculture en 6^{ème} position totalisant 1191 agriculteurs (environ 3%) suivie par d'autres activités à moins 5% (Apiculteurs, arboriculteurs, producteurs de culture industrielles,...).

Le classement de la serriculture est à reconsidéré (en hausse) puisque les mises en valeur (MEVA) sont dédiées aussi en grande partie à la serriculture (exemple de la région d'El Ghrous).

La majorité de ces 1191 serristes se localisent dans les communes suivantes : Ain Naga (305), M'Ziraà (186), Sidi Okba (38) côté Zab Est et El Ghrous (117), Doucen (104), Lioua (100) et Tolga (73) côté Zab Ouest. Ces sept communes représentent à elles seules 78% du nombre total de serristes. Il est intéressant de souligner que ce sont ces mêmes communes qui ont les plus importantes superficies serricoles. Cependant dans le détail l'ordre des communes par superficies agricoles est différent du classement par nombre de serristes. La superficie serricole détenue/serriste est donc différente dans chaque commune car un nombre plus important de serristes n'égalise pas forcément une superficie plus importante en serre.

1.4.1.3 **Chambre de commerce**

Selon cette source, il existe 84 vendeurs de semences et d'intrants chimiques qui sont répartis sur plus de dix communes mais dont le plus important pourcentage (86%) est détenu par les

9 communes suivantes : Biskra (18), Doucen (10), Sidi Okba (9), El Ghrous (9), M'Ziraa (8), Zribet El Oued (6), Tolga (3), Ouled Djellal (3), El Feidh(3) et Sidi Khaled (3). Les communes d'Ain Naga et de Lioua avaient au moins un vendeur de PPS chacune.

Les effectifs de vendeurs importants des communes de Biskra, El Ghrous et M'Ziraa sont expliqués par la tenue de marchés de gros. Il s'agit d'un lieu de rencontre et d'échange pour les agriculteurs. Le marché d'El ghrous par exemple approvisionne directement 35 des 48 wilayas du pays, et ce durant 8 mois de l'année (Daoudi, 2013). Ce qui peut être mis en relief aussi est que les communes de Doucen et d'El Ghrous (Zab Ouest) et celles de Sidi Okba et M'Ziraa (Zab Est) sont des zones serricoles donc attirent l'intérêt en matière de vente de PPS.

1.4.1.4 Institut National de la Protection des Végétaux (INPV)-Biskra

L'INPV est un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, sous tutelle du Ministère de l'Agriculture. Il a été créé en février 1975 et ses statuts ont fait l'objet de réaménagements en 1993 et en 2000. Son siège principal est situé à la wilaya d'Alger et il possède plusieurs annexes dont celui de Biskra.

L'INPV est l'acteur principal de la veille phytosanitaire nationale dont la stratégie repose sur :

- Le contrôle des produits agricoles objets d'échanges commerciaux internationaux, et les plants et semences produits localement ;
- la surveillance et le traitement des fléaux agricoles (lutte anti-acridienne) ;
- la veille de proximité en apportant aux agriculteurs l'information préventive sous forme d'avertissement agricole ;
- la modernisation et la maîtrise des techniques de protection des cultures en privilégiant les solutions qui respectent l'environnement.

L'Institut National de protection des végétaux est dépositaire de l'index des produits phytosanitaires à usage agricole homologués. Aussi, la liste des 22 produits qui ont fait l'objet de retrait d'homologation fin 2013 (Annexe 5) parmi lesquels figurent plusieurs insecticides (acéphate, carbaryl, carbofuran, carbosulfan, endosulfan, fenthion, fenvalerate, malathion, méthomyl, parathion-méthyl, phosalone et le trichlorfon), des acaricides (amitraze, dicofol), des herbicides (bromoxynil, DNOC) et un fongicide (zinèbe). Cependant, les données concernant les produits et stocks réservés à la lutte anti-acridienne ne sont pas accessibles.

Selon l'INPV (1991) in Anonyme (2006), en Algérie, les campagnes de traitement chimiques font appel annuellement à environ 20 000 à 30 000 tonnes de produits répartis comme suit : 60% insecticides, 25 % fongicides, 10% herbicides et 5 % divers.

Dans l'étude d' Ayad-Mokhtari (2012), trois insecticides, fournis par l'INPV d'Oran (Extrême Nord-Ouest, Algérie), sont interdits en Union Européenne dont deux Organophosphorés : le méthyl-parathion (préconisé pour cultures maraîchères et arboriculture fruitière) et le methidathion (arboriculture fruitière et viticulture) et un Pyréthriinoïde : la cyfluthrine. La même étude rapporte que la deltaméthrine et la lambdacyhalothrine (pyréthriinoïdes) sont fournies gratuitement par l'INPV.

1.2.1.5 Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS)

Selon Daoudi (2013) l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (structure publique) joue un rôle important dans l'introduction et la diffusion des serres et du goutte-à-goutte à Biskra, et ce dès les années 1980 et 1990.

À partir du recueil des fiches techniques édité et fourni par l'ITDAS nous avons pu dresser le tableau 11 et ce pour pouvoir le comparer avec les données des enquêtes auprès des agriculteurs.

Tableau 11: Dates et doses de semis et rendements des principales cultures cultivées en région saharienne.

Espèce	Date de semis	Date de plantation	Doses/ha	Rendement Qx/ha
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> L)	Début septembre	Mi-octobre	250 g	800
Piment-poivron (<i>Capsicum frutescens</i> et <i>Capsicum annuum</i> L)	Début août	Fin septembre	300 g	350 à 450
Concombre (<i>Cucumis sativus</i> L)	Fin août	Mi-septembre	600 g	600 à 1000
Melon (<i>Cucumis melo</i> L)	Fin août	Début octobre	600 g	400
Aubergine (<i>Solanum melongena</i> L)	Début septembre	Fin octobre	580 g	500

Selon un rapport établi par l'ITDAS, on a pu actualiser les données concernant les superficies et productions en plasticulture et précisément celles concernant la campagne 2013/2014.

Entre la campagne 2011/2012 qui totalisait une superficie en cultures protégées sous serre tunnel avoisinant les 3550 ha avec une production correspondante dépassant les 2,6 millions de quintaux et celle de 2013/2014, d'environ 4902 ha, la superficie a gagné 1352 ha

l'équivalent de 33 800 serres (à raison de 25 serres/ha) ce qui équivaut à une augmentation annuelle de presque 451 ha. La production était passé à plus 2.7 millions de quintaux. Les superficies en multichappelles ont connu également une importante augmentation passant de près de 25 ha en 2011/2012 à presque 56 ha (plus du double en l'espace de 3 campagnes).

C'est la tomate qui occupe les plus importantes superficies sous serres-tunnel et multichappelles avec respectivement 42% et 64 % des superficies pour la campagne 2013/2014.

Selon le même rapport 60% des exploitations maraichères se situent aux niveaux des Zab Gharbi (Ouest) et 40% des exploitations maraichères aux niveaux de Zab Chergui (Est) les 2/3 des exploitations sont classées « APFA »(Accession à la Propriété Foncière Agricole) et le 1/3 restant de type « Privé ».

1.2.1.6 Agence du Bassin Hydrographique du Sahara (ABHS)

Selon la situation de la petite et moyenne hydraulique de la wilaya de Biskra (Ministère des ressources en eau, 2012), parmi les 33 communes que compte la wilaya, les six communes d'El Ghrous, Doucen et Lioua (Zab Ouest) et celles de M'Ziraà, Ain Naga et Sidi Okba (Zab Est) mobilisent à elles seules 40% des ressources hydriques (forages et puits) dédiés essentiellement à l'irrigation. Les plus importantes superficies agricoles semblent être irriguées essentiellement par les eaux de forages.

1.2.2 Enquête auprès de vendeurs de PPS

Les vendeurs de PPS constituent des points de rencontre et d'échange entre agriculteurs concernant tous ce qui touche aux maladies et ravageurs des cultures. Un vendeur, une fois qu'il a gagné la confiance de ses clients-agriculteurs, devient leur conseiller et leur première source d'information. On a constaté que bien souvent ces vendeurs de PPS sont eux même producteurs-serristes. A notre avis ces derniers constituent les premières personnes en contact avec le terrain et le couple distributeurs (ou producteurs) de pesticides et agriculteurs à consulter concernant l'importance en nombre et en quantité des phytosanitaires.

1.2.2.1 Quantités vendues/mois de PPS

Sur une période de 17 jours (du 04 au 20/04/2012) (Fig.13), des quantités d'une douzaine de pesticides représentant 12 SA : 6 insecticides, 4 fongicides, 1 acaricide et 1 acaricide-

insecticide ont été rapportées par un vendeur de PPS situé à M'Ziraa. On constate (Fig.13) que le nombre et les quantités d'insecticides vendus sont plus importants que ceux des spécialités fongicides à cause de la saison printanière (mois d'avril) où les insectes prolifèrent. La tête de liste en quantité est détenue par un Organochloré : l'endosulfan.

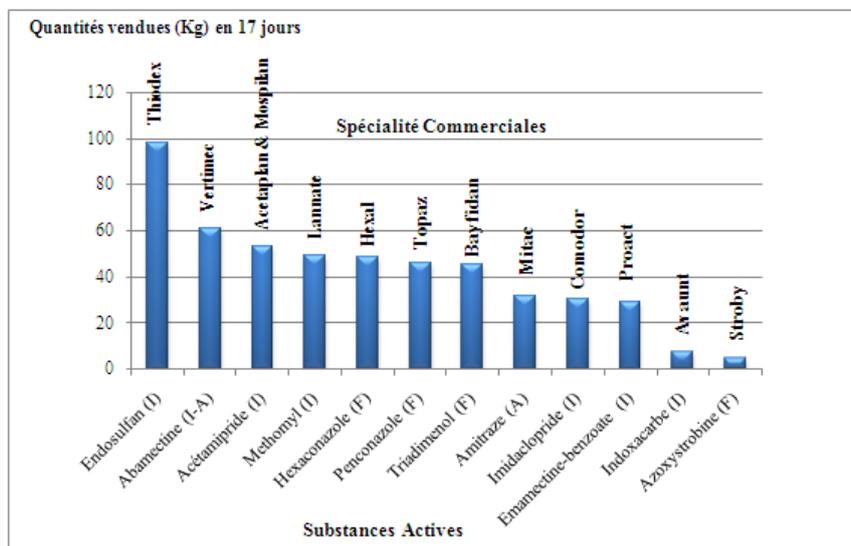


Figure 13: Classement des SA et Spécialités Commerciales selon les quantités totales vendues sur 17 jours (Avril 2012) chez un vendeur de PPS situé à M'Ziraa.

Les familles chimiques correspondantes sont (dans le même ordre) (Fig.13 et 14) : Organochloré, Avermectines, Néonicotinoïdes, Carbamates, Triazoles, Triazoles, Triazoles, Formamidines, Néonicotinoïdes, Avermectines, Oxadiazines et Strobilurines.

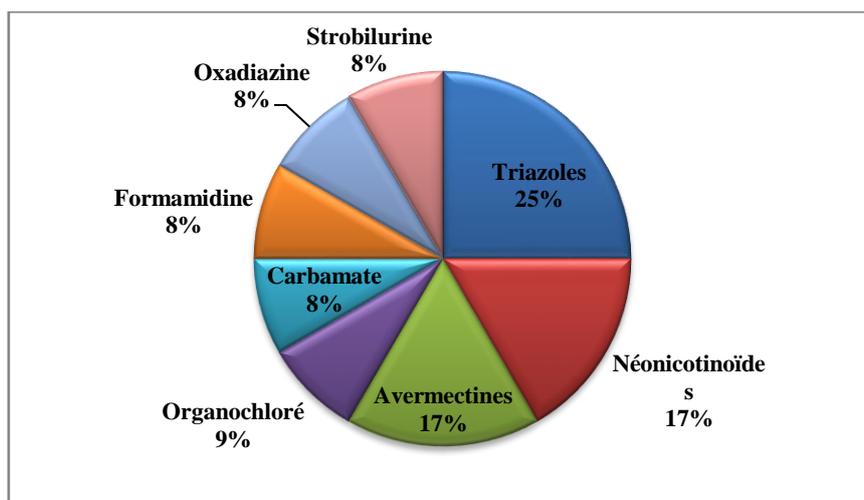


Figure 14: Importances des familles chimiques d'appartenance des SA déclarées par le vendeur de PPS situé à M'Ziraa.

1.2.2.2 Type et classement des Substances actives

Un nombre égal à 43 substances actives vendues sont rapportées par les vendeurs (dans les périodes de Mai-Juin et Novembre 2013). La liste (Tab.12) des SA est classée selon importance des ventes et pour chaque usage (insecticide, acaricide, fongicide). Avec 44% et 42% respectivement, la part des usages fongicides et insecticides prend le dessus sur les autres usages dont les acaricides (de l'ordre de 14%). Les spécialités insecticides-acaricides réunies représentent 56%, c'est à dire moins que les valeurs rapportées par Snoussi (2010) (80% des traitements insecticides-acaricides pour la culture de tomate). Tandis que le total fongicide-insecticides (86%) était supérieur à ce qu'avaient trouvé Ramdani et al. (2009) (75.48%). Ces derniers avaient comptabilisé non seulement les produits destinés aux traitements des cultures sous serres mais aussi toutes les autres spécialités (herbicides, nématicides, raticides) qui se vendaient chez deux phytopharmacies qu'ils avaient enquêté au niveau de Biskra.

Ces SA appartiennent à 21 familles chimiques. Les familles chimiques les mieux représentées (Fig.15) étaient les suivantes : les **Organophosphorés (5SA)**: acéphate, chlorpyrifos-éthyl, chlorpyrifos-méthyl, diazinon, fosétyl aluminium ; Les **Carbamates (5SA)** : méthomyl, mancozèbe, manèbe, propamocarbe, propinèbe ; Les **Triazoles (4SA)**: difénoconazole, hexaconazole, penconazole, triadiménol ; Les **Pyréthroïdes de synthèse (3SA)** : bifenthrine, cyperméthrine, lambda cyhalothrine ; Les **Néonicotinoïdes (3SA)** : acétamipride, imidaclopride, thiaméthoxam ; Les **Avermectines (2SA)** : abamectine, Emamectine-Benzoate ; Les **Organochlorés (2SA)** : endosulfan, dicofol ; Les **Phénylamides (2SA)** : métalaxyl, métalaxyl-M ; Les **Benzimidazoles (2SA)**: carbendazime, méthylthiophanate et les **Non Classée (2SA)** : thiocyclam-hydrogénéoxalate, buprofézine, et avec une SA chacune, les familles suivantes : Les **Anthranilamides**: chlorantraniliprole ; Les **Oxadiazines** : indoxacarbe ; Les **Formamidine** : amitraze ; Les **Benzilates** : bromopropylate ; Les **Pyrazolium** : fenpyroximate ; Les **Sulfites esters** : propargite ; Les **Strobilurines** : azoxystrobine ; Les **Chloronitriles** : chlorothalonil ; Les **Acétamides** : cymoxanil ; Les **Pyrimidines** : fénarimol ; Les **Phthalimides**: folpel et les **Oxazoles** : hyméxazol.

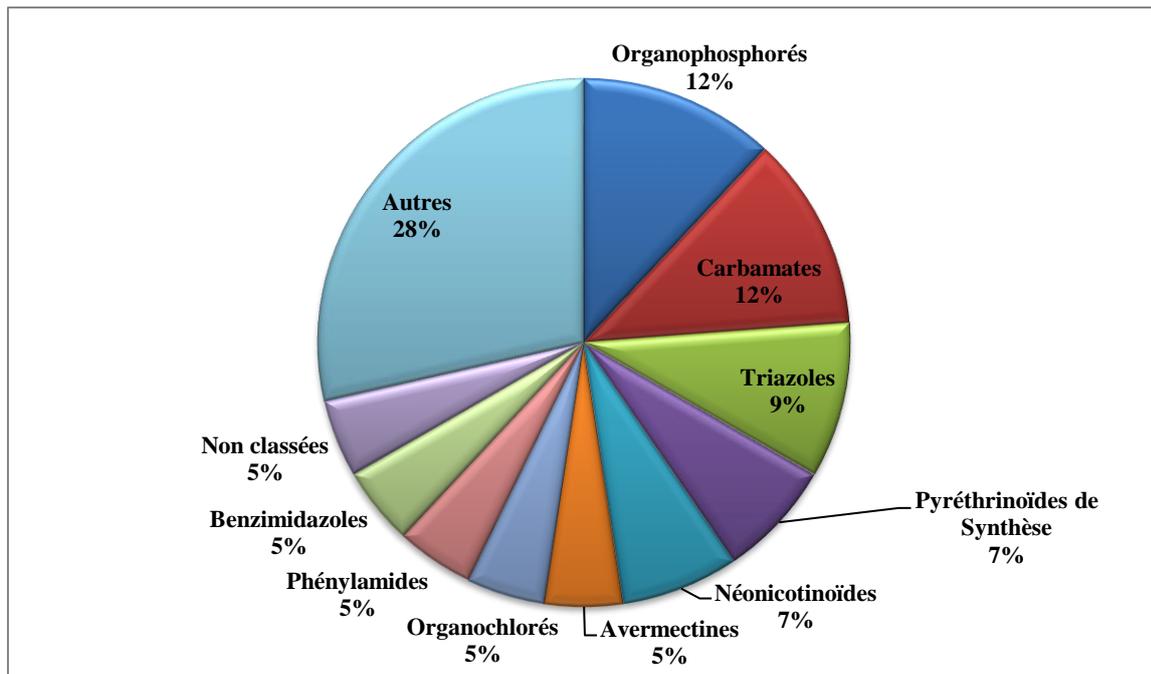


Figure 15: Importances des familles chimique d'appartenance des SA déclarées par les vendeurs de PPS.

Selon le tableau 12, Il y a un bon accord de classement entre Zab Est (M'Ziraa, Ain Naga et Sidi Okba) et Zab Ouest (El Ghrous, Doucen et Lioua) surtout concernant les spécialités acaricides et fongicides.

On a pu constater que 4 SA déclarées par les vendeurs de PPS en Mai et Juin 2013 avaient disparu du classement effectué en Novembre 2013 (début saison agricole 2013/2014), il s'agit d'une SA-insecticide l'« acéphate », d'une SA-acaricide le « bromopropylate » et d'une SA-fongicide le « fénarimol », une autre SA-insecticide n'avait pas obtenu de classement par les vendeurs du Zab Est il s'agit de la « buprofézine ».

Par ailleurs, Les têtes de listes sont les SA suivantes : L'endosulfan et le thiocyclam-hydrogène oxalate côté insecticides, le dicofol et l'amitrazé pour les acaricides et le carbendazime et le méthylthiophanate pour les fongicides. Rappelons que, l'endosulfan était aussi la première SA au classement des quantités pesticides déclarées par le vendeur de M'Ziraa et toutes les autres SA qui figuraient dans sa liste apparaissent aussi dans la présente liste.

L'ITCMI (2010) conseillait d'utiliser du dichlorofluanide (Sulfonamide) et du manèbe (Carbamate) comme fongicide contre le mildiou, l'alternaria et l'anthracnose et du propinèbe (Carbamate), du bénomyl (Benzimidazoles) et de l'hexaconazole (Triazole) contre l'oïdium et

le botrytis ; elle conseillait également du dicofol (Organochloré) et de l'amitrazé (Formamidine) en traitement acaricide ; tandis qu'en traitement nématocide c'est de l'éthoprophos (Organophosphaté) (avant plantation), du dazomet (Carbamate) et du fenamiphos (Organophosphoré) qu'il préconisait. Le manèbe, le propinèbe, l'hexaconazole, le dicofol, l'amitrazé figurent tous dans le classement (Tab.12).

Un nombre important des matières actives déclarées vendues est interdit d'usage à l'échelle internationale et Européenne. Au niveau national, parmi ces substances actives : l'acéphate, l'amitrazé, le dicofol, l'endosulfan et le méthomyl font partie d'une liste de 22 produits faisant l'objet de retrait récent d'homologation (fin 2013) (annexe 5) selon la Direction de la Protection des Végétaux et des Contrôles Techniques (DPVCT). Les quatre substances sont toujours d'usage d'après leur classement sur le tableau ci-dessous sauf le cas de l'acéphate déjà mentionné.

.

Tableau 12 : Rang des principales SA rapportées (par ordre alphabétique) vendues et classées par les vendeurs de PPS des 6 localités selon importance des ventes pour usage en maraîchage sous serre (en gras les mieux classés).

SA	Classement		SA	Classement		SA	Classement	
	Z.Est	Z.Ouest		Z.Est	Z.Ouest		Z.Est	Z.Ouest
18 Insecticides								
Abamectine	5	8	Chlorpyriphos-éthyl	14	12	Imidaclopride	7	6
Acephate	-	-	Chlorpyriphos-méthyl	15	13	Indoxacarbe	11	10
Acétamipride	6	5	Cyperméthrine	8	7	Lambda cyhalothrine	10	11
Bifenthrine	16	16	Diazinon	12	17	Méthomyl	9	4
Buprofézine	-	14	Emamectine benzoate	2	3	Thiaméthoxam	13	15
Chlorantraniliprole	3	9	Endosulfan	4	1	Thiocyclam-hydrogénéoxalate	1	2
6 Acaricides								
Abamectine	3	3	Bromopropylate	-	-	Fenpyroximate	4	4
Amitraze	2	2	Dicofol	1	1	Propargite	5	5
19 Fongicides								
Azoxystrobine	7	7	Fosétyl alluminium	13	13	Méthylthiophanate	2	2
Carbendazime	1	1	Hexaconazole	9	9	Penconazole	5	5
Chlorothalonil	6	6	Hyméxazol	3	3	Propamocarbe	20	19
Cymoxanil	10	10	Mancozèbe	8	8	Propinèbe	17	17
Difénoconazole	11	11	Manèbe	16	15	Triadiménol	4	4
Fénarimol	-	-	Metalaxyl	12	12			
Folpel=Folpet	19	20	Métalaxyl-M	14	14			

1.2.3 Enquête auprès d'agriculteurs

Dans ce qui va suivre, nous allons discuter et analyser les résultats d'enquête auprès des agriculteurs serricoles pour comprendre le fonctionnement de cette exploitation et de ce système de production.

1.2.3.1 Analyses descriptives (uni-varié)

Nous allons examiner les éléments issus de l'exploitation des données de l'enquête à travers une analyse uni-variée de l'ensemble des variables en confrontant nos résultats à ceux des référentiels locaux (ceux de l'ITDAS et/ou de l'ITCMI, INPV) quand ils existent et/ou internationaux (ex. GAP⁷⁰). L'ordre dans lequel seront décrites et discutées les données sera le même que celui des différents axes du « Questionnaire ».

Axe1 : Données générales sur les agriculteurs, leurs exploitations et sur les cultures sous serre (CSS)

- **Statut**

La plupart des agriculteurs enquêtés sont des propriétaires (>65%) pour le reste c'est soit des locataires⁷¹ (≈28%) soit des gérants (<6%), ces derniers travaillent soit « bi-talta » (un tiers) ou « bi-rabaa »⁷² (un quart) avec le propriétaire. Cependant, selon Daoudi (2013) la plasticulture à El Ghrous par exemple est pratiquée par une grande proportion (66,25%) de locataires. Cette location se fait par emplacement de serre (400 m²) par de jeunes locataires qui n'ont pas encore constitué un capital important. Ce système de maraîchage couvre les deux tiers de la superficie cultivée sous serre à El Ghrous (Naouri et al., 2015).

- **Origines des agriculteurs enquêtés**

La majorité des agriculteurs enquêtés sont d'origine locale (à 85%), cependant, 15% viennent d'autres wilaya (principalement du Nord) à l'exemple de Tipaza, Blida, mais aussi de pays voisins comme le Maroc (surtout pour les gérants). Ces derniers louent la terre et l'eau et possèdent leur propres serres et travaillent donc pour leur propre compte. Les agriculteurs locaux racontent que les agriculteurs non originaires des Ziban ont généralement leurs propres techniques agricoles surtout en matière de traitements phytosanitaires qu'ils ne dévoilent pas

⁷⁰ Good Agricultural Practice/ Bonnes pratiques agricoles.

⁷¹ Il s'agit d'un mode de faire valoir direct : le « fermage » où le fermier loue la terre, l'eau et parfois les serres.

⁷² Il s'agit du mode de faire valoir indirect particulier qui consiste à partager le bénéfice de la production (et également les pertes) au 1/3 ou 1/4 pour l'agriculteur-gérant qui met sa force de travail et au 2/3 ou 3/4 pour le propriétaire de la terre et des serres.

et qu'ils ramènent même leurs produits pesticides des wilayas nordiques. Selon Daoudi (2013), Parmi les locataires d'El Ghrous, plus de 66% sont étrangers à la commune, venus de 9 wilayas différentes : Tipaza, M'sila, Djelfa, Sétif, Chlef, Médéaa, Batna, Bouira et Mila. Ces migrants sont tous des vecteurs d'informations et de connaissances techniques entre leur région d'origine et El Ghrous.

- **Surface agricole**

- **Surfaces Agricoles Totale (SAT), Utile (SAU) et Sous serre (SSS)**

Pour l'ensemble des observations (des enquêtés), on peut dire que plus de 60% possèdent une SAT ≤ 10 ha. Tandis que seuls 5 % d'entre eux dépassent les 50 ha. La SAU pour plus de 70% des enquêtés est comprise entre 1 et 5 ha. La SSS est à plus 70 % ≤ 1 ha pour l'ensemble des enquêtés ce qui peut représenter ≤ 25 serres. Ce qui nous fait dire en comparant avec la SAU qu'il s'agit d'exploitation en poly ou multicultures dont le palmier dattier et les céréales en plus du maraîchage de plein champ prennent place.

- **Type et coût de la location par saison agricole**

Pour 67% de ceux qui louent, il s'agit d'une location de la terre avec droit à l'eau inclus, ce qui laisse penser qu'ils possèdent leur propre serres qu'ils viennent installer et qu'ils peuvent déplacer. Pour 44% de ceux qui louent, le coût moyen de location est de 20000 DA/an/serre (≈ 170 € ou 180 \$) (même montant rapporté par Rekibi (2015)). A signaler qu'il ya parfois des différences dans le coût de location des serres selon les communes.

- **Type de sol**

En interrogeant les agriculteurs sur l'appréciation du caractère perméable de leur sol, 65.6% ont déclaré que le sol était de nature perméable (donc à texture légère). En observant les réponses par communes (Tab.13), on distingue des différences où la commune de MZ présente les sols les moins perméables en contraste avec la commune d'EG où les sols sont jugés perméables.

Tableau 13 : Type de sol selon appréciation des enquêtés des six communes.

Communes Nature du sol	MZ	AN	SO	EG	D	L	Total réponses
Perméable (%)	20	64,3	75	100	90,9	50	65,5
Non perméable (%)	80	35,7	25	0	9,1	50	34,4

Comme commentaire, on peut dire que le sol des enquêtés de la commune de M'Ziraa est plutôt lourd. Tandis que celui d'El Ghrous, Doucen, Sidi Okba et Ain Naga est plutôt perméable donc de texture légère. La texture du sol a été déterminée par la suite dans le chapitre 2 de la partie II.

- **Analyse du sol**

Presque ¼ des enquêtés a procédé à une analyse de sol soit localement (ITDAS) soit dans des laboratoires à l'étranger. On remarque que les enquêtés des 3 communes situées à l'Est sont ceux qui investissent le plus dans ce genre d'analyses totalisant ainsi 80% des cas contre 20% seulement pour les 3 communes de l'Ouest, ce qui laisserai supposer une aisance financière et un plus grand intérêt apporté par les premiers. De plus, deux agriculteurs de la commune de M'Ziraa nous ont fourni des copies des fiches d'analyses qu'ils ont effectué sur leurs exploitations respectives. Bien qu'on ne puisse généraliser, ces résultats vont nous servir lors des analyses physico-chimiques du sol à M'Ziraa.

- **Profondeur forage (nappe)**

La nappe captée est celle du mio-pliocène (nappe des sables) car la profondeur des forages de plus de 60 % des enquêtés se situe entre 90 et 250 m. Par rapport à chacune des communes, on trouve le résultat illustré dans le tableau suivant (Tab.14) :

Tableau 14: Profondeur (m) des forages reportés par les enquêtés.

Profondeur nappe (m)	Pourcentage d'enquêtés par communes					
	MZ	AN	SO	EG	D	L
20-89	/	/	12,5	50	45,5	90
90-250	90	100	87,5	25	54,5	10
>250	10	/	/	25	/	/

- **Nombre de serres-tunnels (400m²) et de grandes serres (superficie ≥1ha)**

Moins de 30% des enquêtés possèdent ou gèrent un nombre égal ou supérieur à 20 serres. Du coté des petits exploitants, qu'elle soit une multi-chappelle ou une canarienne, 10% des enquêtés en possède une seule, 5% possèdent deux grandes serres et 3% en possèdent plus de 4 serres. Mais ça n'exclut pas le fait qu'un agriculteur soit en possession de petites et de grandes serres simultanément. Cependant la présence de grandes serres n'a été signalée que dans le Zab Est (AN, MZ, SO) confirmant les données recueillis par la DSA à ce propos.

- **Durée d'occupation d'une serre sur la même parcelle**

Plus de 52% des observations (des agriculteurs enquêtés) disent qu'ils ne laissent les serres sur la même parcelle que pendant 2 années successives. Presque 30% les laissent pendant 3 ans (durée moyenne de vie du film plastique de recouvrement) et c'est encore plus vrai pour les observations de la commune d'El Ghrous où plus de 75% les laissent pendant 3 campagnes. Cependant, 10% les changent d'emplacement chaque année à condition d'avoir les moyens financiers et de grandes superficies foncières.

- **Type d'irrigation**

Le type d'irrigation adopté par plus de 98% de la population enquêtée est le système de goutte à goutte. L'usage du gravitaire en plasticulture existe encore à la commune de Lioua.

Axe2 : Importance des autres systèmes agricoles /d'autres productions

- **Palmier dattier** : 62% de nos enquêtés ne produisent pas de dattes. 15% et 8% de ceux qui en produisent, possèdent 1 ha et 2 ha respectivement.
- **Céréales** : 65.6% de nos enquêtés ne font pas de céréales et pour 11.5% de ceux qui en font il s'agit de superficie de 1ha de blé et/ou d'orge.
- **Maraîchage de plein champs**: plus de 45 % des enquêtés font du maraîchage hors serre (fève, choux-fleurs, petit pois,...).
- **Arbres fruitiers** : 87% des enquêtés ont déclaré ne pas faire de l'arboriculture fruitière. Pour ceux qui en font il s'agit d'agrumes, de pommier, d'abricotier et autres qu'ils disent pratiquer à des fins d'autoconsommation.
- **Élevage** : Presque 79% ont déclarés ne pas faire d'élevage. Le nombre de têtes est restreint et l'élevage est réservé aux besoins familiaux. Le type d'élevage mixte ovin-caprin est le plus courant.

Tous ces résultats font que la serriculture (plasticulture) est le système de culture dominant mais pas le seul pour nos agriculteurs enquêtés.

Axe3 : Rotation agricole sous serre

Il s'agit de rotation intra-annuelle. 46% des serristes déclarent faire de la rotation à l'intérieur des serres au sein de la même année contre 54% qui ne la font pas et c'est dû probablement que ces derniers font des cultures tardives qui occupent les serres jusqu'à la fin de l'année agricole.

- **Type de rotation**

Sur les 28 cas ayant déclaré faire de la rotation, voici dans un ordre décroissant (selon réponses), le type de couples (familles et espèces) qui ont été reportés :

- **Solanacée-Cucurbitacée** : Tomate-melon et piment-melon ;
- **Cucurbitacée-Cucurbitacée** (même famille): Courgette-Melon ;
- **Cucurbitacée-Solanacée** : Concombre-tomate, Courgette-tomate ;
- **Légumineuse-Cucurbitacée** : haricot vert-melon ;

Axe4 : Fumure organique et minérale et Travail du sol

- **Fumure organique**

Fossen (2006) rapporte que les fumures organiques, telles que les fientes de volailles et le fumier bovin, augmentent l'adsorption des pesticides sur la matière organique et allongent leur demi-vie. Selon le même auteur, les demi-vies allaient de 40 jours en l'absence d'amendement organique à 124 jours en présence de fumier bovin.

Dans notre cas, Il s'agit essentiellement d'un mélange ou plutôt d'un apport simultané de fumier ovin et de volaille dans 46% des cas de réponses. Les enquêtés répondent sur la quantité de fumier apportée/serre, en unité de transport c-à-d type de camion contenant le fumier. Il faut évaluer par la suite le tonnage de chaque camion pour pouvoir estimer la quantité de fumier apporté/serre. Le type de camions « Sonacom K120 » et le type « Saviem » totalisent plus de 87% des 32 cas de réponse. Un demi-camion à un camion de fumier ovin est apporté pour 50 % et 29% des cas respectivement, représentant à peu près respectivement 3250 kg/serre et 6500 kg⁷³/serre de fumier. Sachant que l'ITCMI prescrit 40 tonnes/ha pour la culture de tomate sous serre irriguée au G à G (ITCMI, 1995; INVA-ITCMI, 2002 in <http://www.fao.org/docrep/008/y5953f/y5953f0b.htm>), ce qui représente 1600 Kg/serre, on constate donc, que la moitié et un peu moins du tiers des agriculteurs doublent et quadruplent les apports de fumier, respectivement et ce n'est que pour les apports de fumier ovin. Le fumier ovin provient de wilaya limitrophes telles que Batna, M'Sila, Khanchela, les fientes de volailles proviennent essentiellement de la wilaya de Batna tandis que le fumier bovin provient de fournisseur locaux situés à Sidi Okba et à Doucen.

⁷³ La charge utile de ce type de camion.

A titre indicatif, nous estimons la densité des fientes de volailles (prélevées chez un agriculteur à MZ) et celle du fumier ovin (prélevé à SO) à 0,107 et 0,083 respectivement (calcul personnel). Cette valeur peut varier en fonction de l'humidité du produit.

L'application de fumier sur les terres agricoles ou le dépôt d'excréments sur les pâturages peut être une source de contamination de l'environnement en particulier dans le compartiment sol pour certaines substances ou médicaments vétérinaires comme le cas de la sulfadiazine⁷⁴ dans l'étude de Sukul et al. (2008). Aussi, Kolok et al. (2014) ont détecté dans leur étude où des échantillons d'eau ont été prélevés dans 23 bassins versants agricoles canadiens, un certain nombre d'antibiotiques vétérinaires incluant la monensine⁷⁵, la sulfaméthazine, l'érythromycine⁷⁶, la lincomycine⁷⁷, la chlortétracycline⁷⁸ et l'oxytétracycline⁷⁹. Ces auteurs pensent que le ruissellement à partir des champs fertilisés avec du fumier animal est le contributeur principal de produits pharmaceutiques aux eaux de surface dans le bassin hydrographique, car l'utilisation dominante des terres dans le bassin versant est associée à la production végétale. Selon la PPDB, certaines substances pesticides (citées par les vendeurs) comme l'abamectine, la cyperméthrine, la deltaméthrine, le diazinon, l'imidaclopride sont utilisées comme substances vétérinaires.

Nous rappelons qu'il existe aussi des insecticides-adulticides pour traitement des bâtiments d'élevage essentiellement des Organophosphorés (azamétophos, chlorpyrifos-éthyl, diazinon, dichlofos, diméthoate, fénitrothion, iodofenphos, malathion, protamphos, pyrimifos-méthyl), des Pyréthriinoïdes (cyperméthrine, deltaméthrine, perméthrine), des Carbamates (méthomyl) et des inhibiteurs de synthèse⁸⁰ (cyromazine, triflumuron), utilisés en pulvérisation, cependant, on conseille le retrait du fumier avant application ; Les pesticides pulvérisés peuvent également contaminés l'eau et les mangeoires. Aussi, des insecticides-larvicides pour le traitement des stockages des déjections et des litières et des insecticides utilisés sur les

⁷⁴ Un antibiotique / antimicrobien de bétail fabriqué de manière synthétique couramment utilisé avec des propriétés antiparasitaires appartenant à la famille des Sulfonamides utilisé pour traiter des espèces telles que les : chevaux, bovins, volailles.

⁷⁵ Antibiotique, antibactérien, additif alimentaire, promoteur de croissance, appartenant au groupe des Polyéther (ionophore = soluté qui porte des ions). Comme exemple d'espèces traitées citant les volailles et les bovins.

⁷⁶ Un antibiotique produit par *Streptomyces erythreus* et utilisé pour traiter une gamme d'infections bactériennes principalement chez les poulets.

⁷⁷ Antibiotique, antibactérien, antimicrobien et médicament appartenant à la classe de Lincosamide et traitant les chiens, les chats, les porcs, les volailles, les bovins et les abeilles.

⁷⁸ Bactéricide, fongicide, substance antimicrobienne isolée du microorganisme (*Treptomyces aureofaciens*) appartenant à la classe des Tétracyclines et utilisée dans les produits vétérinaires et pour l'aquaculture essentiellement pour traiter volailles, cochons et poissons.

⁷⁹ Bactéricide, antimicrobien, antiseptique dérivé de micro-organisme utilisé pour le traitement des veaux, des bovins laitiers non allaitants, du boeuf, des porcs, des poissons, des volailles, des chats et des chiens.

⁸⁰ Les inhibiteurs de synthèse (larvicides) de la cuticule des larves bloquent la synthèse de la cuticule, qui perturbe l'éclosion des œufs de parents traités, les phases de mues de la larve et la formation de la puppe.

animaux (Fédération Nationale des Groupements de Défense Sanitaire, 2007). Parfois, les animaux peuvent être accidentellement exposés à des produits chimiques suite à leur utilisation dans les cultures de céréales, de fourrage ou utilisés directement dans les champs de foin ou les pâturages.

- **Fumure minérale « de fond »**

Plus de la moitié (>54%) des enquêtés déclarent avoir procédé à cette pratique, le plus souvent en ajoutant du TSP (Triple Super Phosphate) ou du NPK triple 15 (en granulé). Plus de 36% de ces 54% déclarent avoir apporté une quantité égale à 25Kg/serre et 18% des cas apportent quand même une quantité double (50Kg/serre) de l'une comme de l'autre fumure.

- **Travail du sol**

Le travail du sol comporte toutes les opérations qui le perturbent (ex. retournement, ameublissement). La réduction de l'intensité du travail du sol entraîne des changements significatifs et complexes dans les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, le plus souvent liés entre eux, affectant ainsi le sort des pesticides appliqués (Alletto et al., 2010). Toutes les opérations de travail du sol sont détaillées dans le tableau 15. Les opérations renseignées de travail de sol sous serre sont les suivantes :

- **Le Labour** : la totalité des enquêtés font recours une seule fois au labour, opération qui est réalisée en 30 mn environ par serre au tracteur et qui coûte entre 350 et 500 DA/serre ;
- **Le Travail superficiel** : presque 60% et 26% de ceux qui font du travail superficiel le font une à deux fois respectivement. Cette opération aussi prend en terme de temps environ 30 mn et coûte entre 350 et 500 DA/serre pour la majorité des répondants ;
- **Le Mélange fumier-sol (El Khallata)**: réalisée en générale 1 seule fois pendant un cycle culturale, cette opération coûte et prends le même temps que les deux opérations précédentes ;
- **La Confection de billons** : réalisée une seule fois, coûte autant que les opérations précédentes mais prends moins de temps (environ 20 mn).

On peut dire qu'une serre coûte en termes de travail du sol entre 2800 et 4000 DA pour un cumul d'à peu près 2 heures.

Tableau 15 : Temps, coût et nombre de passage des différentes opérations du travail du sol sous serre.

Opérations	Pourcentage Des répondants	Temps/ Serre (mn)	Total réponse (%)	Coût (DA)/ heure	Total réponse (%)	Nombre de passage	Total réponse (%)
Labour	100	≤ 30	87	De 700 à 1000	69	1	92
Travail superficiel	95	≤ 30	84,5	De 700 à 1000	93	1 2	> 58 ≈ 26
mélanger le fumier au sol	67	≤ 30	95	De 700 à 1000	90	1 2	78 22
Confection de billons	67	≤ 20	80	De 700 à 1000	68	1	100

Axe 5 : Matériel et équipements agricoles

Seul 26 % du total enquêté indiquent avoir du matériel (le plus souvent tracteur avec charrue), ce qui sous-entend que la majorité des serristes font recours à la location pour effectuer les opérations de travail du sol (section précédente). Tous les serristes possèdent au moins un pulvérisateur à moteur de produits phytosanitaires (avec rampe et pistolet) et plusieurs pulvérisateurs à dos.

- **Utilisation du paillage plastique**

Selon «GAPs for greenhouse vegetable crops » (Baudoin et al., 2013), le paillage en plastique noir et blanc - appliqué localement (paillage localisé) sur des rangées ou sur tout le sol de la serre (paillis total) - est un moyen important de lutter contre les mauvaises herbes et certains insectes nuisibles (thrips, mineuses, etc.). Aussi, La large utilisation du paillage aide à réduire l'humidité de l'air et à limiter les besoins en eau des cultures en réduisant l'évaporation de la surface du sol (Castilla, 1994 in Castilla et al., 2004).

Seuls 39% des enquêtés ont eu recours au paillage plastique noir sur rangées à même le sol à l'intérieur des serres pour limiter l'évaporation au sol et limiter l'apparition des mauvaises herbes. Le paillage plastique est plus fréquent en grande serre.

Dietrich et Gallagher (2002) in Mottes et al. (2014) ont montré des concentrations extrêmement élevées de pesticides ($> 100 \mu\text{g l}^{-1}$) dans les eaux de ruissellement des champs de tomates couverts de paillis en plastique, ce qui pourrait être expliqué par la fraction de pesticide lavée à partir des feuilles mais non interceptée par le sol pendant le ruissellement.

Dans le cas des pesticides qui se lient très faiblement au plastique, le ruissellement peut être enrichi par la fraction de pesticides qui sont déposés sur le paillis pendant l'application. Pour cette raison, le paillage en plastique, en cultures de plein champ, a été décrit comme favorisant les transferts de pesticides.

- **Équipement d'une serre-tunnel**

L'équipement sous-entend l'armature ou squelette, le fils galvanisé, la bâche et le fils de palissage (pour tomate), le coût moyen d'une serre tunnel avec équipement est de 166 167 DA. Le film plastique est le matériau de couverture prédominant dans la région climatique méditerranéenne : presque 90 % de la superficie en serre dans cette région (Papasolomontos, 2013 in GAP, 2013).

Le film de recouvrement est constitué de 14 feuilles pesant à peu près 140 kg. Ces films de revêtement de serre sont composés de polymères (poly-éthylène : PE, éthylène-vinyl-acétate : EVA, éthylène-butyl-acrylate : EBA, polychlorure de vinyle : PVC) et d'additifs et ont une épaisseur comprise entre 80 et 200 μm .

D'après nos enquêtes, la durée de vie du film plastique est comprise entre 2 et 4 ans qu'il soit de provenance nationale (Mouzaia : Blida, Sétif) ou d'importation (Espagne, Tunisie, Jordanie). Effectivement, Montero et al. (2013) in GAP (2013) rapportent que la durée de vie des films de serre a augmenté de 9 mois dans les années 1950 à environ 45 mois aujourd'hui. Rapporté par les mêmes auteurs, Cepla, (2006) affirme que l'usure du film plastique dépend des photo-additifs incorporés dans ce dernier ainsi que de l'emplacement géographique et de l'exposition du film aux **traitements des pesticides** (le soufre et le chlore sont particulièrement corrosifs vis-à-vis du plastique).

Katsoulas et al. (2012) rapportent dans leur étude en Thessalie près de Volos sur la zone continentale de l'Est de la Grèce qui s'est déroulée en Novembre et Décembre 2007, qu'approximativement 10 % d'un fongicide (SCALA⁸¹ 40 SC⁸², SA: pyrimethanil⁸³ 40 %⁸⁴) appliqué dans une serre tunnel de tomate (160 m²) couverte par un seul film de type PE-EVA d'une épaisseur de 180 μm s'est déposé sur les murs et le toit de cette dernière.

⁸¹ Nom commercial du pesticide.

⁸² Renvoi à la formulation du pesticide qui est une suspension concentrée.

⁸³ Substance active fongicide approuvée appartenant à la famille des Anilinopyrimidine.

⁸⁴ Pourcentage de la substance active au sein du produit pesticide commercialisé.

Axe 6 : RDD ou la règle de décision pour le choix variétale des cultures

La majorité (44%) des enquêtés ne cultivent qu'une seule variété de **tomate**. Les variétés les plus cultivées sont dans l'ordre Tofan, Sahra et Dawson, le choix de la variété dépend souvent du calibre et de la résistance aux maladies. Pour le piment, 2 variétés sont cultivées le plus en combinaison de deux variétés à l'exemple de la variété « King » et de la variété « Prince ». Les agriculteurs cultivent aussi une à deux variétés de poivron à savoir : « Tahat » et « Groun ». Pour la courgette, la majorité ne cultive qu'une seule variété soit celle portant le nom de « Hiba » soit « Salima ». Pour l'aubergine et le melon, également, les serristes cultivent le plus souvent une seule variété, il s'agit de la « Panthère noire » et de « Star plus » pour les deux spéculations respectivement ; Les deux critères principaux de choix des dernières variétés sont le calibre et la demande du marché.

Il est utile de signaler que la majorité des agriculteurs (76%) font leurs propres plants sur l'exploitation ce qui ajoute certainement une dépense de pesticides spécifiques au traitement des plants en pépinières.

Axe 7: Conduite et entretien de la culture principale

En demandant aux agriculteurs-serristes de choisir la culture principale qu'ils pratiquent (selon son importance en nombre de serre) parce que la suite des réponses dans cet axe dépend de cette question, il s'est avéré que presque 73 % des enquêtés pratiquent la culture de tomate (ou lui dédie le nombre de serres le plus important) suivi par celle du piment ($\approx 17\%$), du poivron ($\approx 7\%$) et de l'aubergine ($>3\%$).

- **Mois et périodes de semis/plantation selon Culture**

Nos résultats (le cas de la tomate) vont dans le même sens que ceux de l'ITCMI (guide pratique de la culture de tomate sous serre, 2010) rapportant que les dates de semis et de plantation pour la culture de tomate maraîchère de primeur à Biskra correspondent à Août et Septembre respectivement, ces deux opérations s'effectuent le plus souvent en début des mois (Tab.16). Cependant, on a enregistré des différences par rapport aux dates de semis prescrites toujours par l'ITCMI (2015) pour les autres cultures sous serre en zones sahariennes.

Tableau 16 : Mois et période de semi et de plantation des principales cultures maraîchères conduites sous serre à Biskra.

Opération	Semis			Plantation		Durée entre les deux opérations
	Présente étude		ITCMI (2015)	Mois	Période	
Culture	Mois	Période	Mois & période			
Tomate	Août (41%)	Début (48%)	Septembre Début	Septembre (52%)	Début (39%)	1 mois
Piment	Juillet (60%)	Mi (50%)	Septembre Début	Septembre (70%)	Début (70%)	1 mois et demi
	Janvier (10%)			Février (10%)	Fin de (20%)	
Poivron	Août (75%)	Début (75%)		Septembre (75%)	Mi de (50%)	1 mois et demi
Aubergine	Août	Début et Fin	Octobre	Septembre	Début Fin de	1 mois
Melon	février (1 seul cas)	Début	Mi- octobre	Mars	début	1 mois

- **Application d'argile**

Cette opération consiste à mettre de l'argile (parfois de la chaux) sur le toit et les parois externes de la serre en début de saison ainsi qu'au début des chaleurs et ce pour atténuer la chaleur à l'intérieur de la serre, à peu près 79% de nos enquêtés pratiquent cette opération. Gallardo et al. (2013) in GAP (2013) reportent que pour avoir des valeurs d'évapotranspiration faibles dans le Sud/Est de l'Espagne une opération de blanchiment (avec une suspension de carbonate de calcium) est communément appliqué au toit de la serre et aux murs pendant les périodes plus chaudes (été / début à fin automne, début du printemps/été) pour diminuer la température de l'air à l'intérieur de la serre. Cette opération contribue donc à l'économie d'eau.

- **Gestion des mauvaises herbes**

Les agriculteurs font recours au désherbage manuel (binage) à 57% du taux de réponses, au paillage plastique ($\approx 20\%$) et seul un taux inférieur à 7% fait appels aux herbicides pour pallier au problème des mauvaises herbes.

- **Aération**

L'aération est un élément clé dans la conduite des cultures des serres, parce que mal conduite elle pourrait engendrer de nombreux problèmes dont le plus important est la

prolifération de maladies fongiques. Aussi chaque culture exige un optimum de température et d'hygrométrie. En plus d'ouvrir les portes devant et arrière, les serristes ouvrent des ouvertures latérales et même au toit de la serre en écartant le film plastique.

Selon Montero et al. (2013) in GAP (2013), il y a un manque d'une bonne ventilation naturelle pour les serres en zone méditerranéenne en raison du manque d'étanchéité, d'une faible ventilation résultant d'une mauvaise combinaison de la ventilation des côtés et du toit et de l'utilisation d'écrans d'insectes à faible porosité (insect-proof) qui réduisent fortement le taux d'échange d'air.

À part en temps venté, les agriculteurs enquêtés aèrent majoritairement 24/24 leur serres (portes surtout et ouvertures latérales) pendant l'automne, le printemps et l'été, ce temps est réduit du quart au moitié en hiver (Tab.17).

Tableau 17 : Nombre d'heures d'aération des serres selon saison.

Saison	Mois	Taux de réponses (%)	Nombre d'heures d'aération/jour
Automne	Septembre-Novembre	- 69	- 24/24
Hiver	Décembre-Janvier	- 48	- 6 – 8
		- 20	- 12
Printemps	Février-Avril	- 51	- 24
		- 18	- 12
Eté	Mai-Juin	- 92	- 24/24

Axe 8 : Fertilisation

Les fertilisants avec les pesticides sont des intrants chimiques qui font partie des plus importants facteurs de production en serriculture. De la liste des engrais les plus utilisés par les agriculteurs pour les cultures sous serre (annexe 6). Il ressort que les engrais tertiaires de type NPK : 15.15.15 et 20.20.20 avec un usage moyen durant tout le cycle de 22 et 15 Kg/serre pour les deux engrais respectivement sont les plus utilisés et ils sont dits d'entretiens et sont apportés par quelques agriculteurs à intervalles réguliers ou selon besoins et l'état général des cultures par d'autres. L'élément phosphore est apporté surtout à travers la formule du P46% (triple superphosphate) à raison de 6 Kg/serre ou la formule 10.52.10 à raison de 3 Kg/serre. Pour l'élément potassium c'est la formule 12.12.36 en quantité moyenne égale à 6 kg/serre/cycle qui est la plus apportée suivie de la formule 12.12.44 (4Kg/serre/cycle) et ce surtout pendant la fructification et le grossissement des fruits. Les prix des principaux engrais sont récapitulés en annexe 7.

L'ITCMI, 1995 et l'INVA⁸⁵-ITCMI, 2002 recommandent par exemple 800 kg/ha (32 Kg/serre) de **N + P₂O₅ + K₂O** pour les cultures de tomate et poivron sous serres irriguées au goutte à goutte et 1000 Kg/ha (40 Kg/serre) de l'ensemble des trois éléments minéraux pour la culture de melon. Par un simple calcul basé sur la quantité moyenne de tous les engrais apportés/serre/cycle (annexe 6) nous avons trouvé que les agriculteurs apportaient 10,565 Kg d'N, 12,240 Kg de P₂O₅ et 10,720 Kg de K₂O ce qui correspond à une quantité globale de 33,525 Kg, cette quantité calculée excède de peu et n'est pas loin de la quantité recommandée pour la culture de tomate sous serre (32Kg/serre).

Axe 9 : Caractéristiques du réseau d'irrigation et gestion de cette dernière

Si les bonnes pratiques d'irrigation permettent un rendement agricole élevé et de qualité dans les régions arides et semi-arides, des pratiques d'irrigation inadaptées causent des problèmes environnementaux tels qu'une saturation excessive des sols par les eaux souterraines, et une contamination par la salinité, les engrais et les résidus d'additifs chimiques qui pénètrent profondément dans le sol avec l'eau d'irrigation (Khan et al., 2013).

- **Coût et caractéristiques du réseau d'irrigation**

Le coût d'installation d'un réseau d'irrigation pour une seule serre tunnel de 400 m² est en moyenne de 3370 DA (soit ≈29Euros ou ≈31 \$US)⁸⁶. Le bassin d'eau est le plus souvent construit en béton, les lignes (tuyaux) sont le plus souvent séparées et apparents en surface. Ces lignes sont distantes de 0.8 à 1 m les uns des autres. L'espacement le plus courant produit 8 lignes/serre mais peut s'adapter au nombre de lignes de plants. L'espacement entre goutteurs est majoritairement de 10 cm. Le débit diffère selon la marque de la gaine. Concernant cette dernière, 62% des enquêtés ayant répondu disent avoir opté pour les marques « Aquatrax », « Mago » et « T-Tape ».

À titre théorique et empirique, en prenant en compte les espacements entre lignes et entre goutteurs les plus pratiqués, 1m et 0.1 m respectivement, une densité de 20 goutteurs au m² est calculée. Si le débit d'un goutteur est de 2 l/h, les 20 goutteurs donneront 40 l/h/m² ce qui correspond à 16000 l/h/serre (400m²). Ce calcul nous aide à établir la quantité d'eau consommée par les cultures sous serre à l'aide des temps cumulés d'irrigations tout au long du cycle cultural d'une culture donnée.

⁸⁵ Institut national de la vulgarisation agricole.

⁸⁶ Taux de change au 31 Décembre 2013.

- **Règles de décision des irrigations**

Plusieurs raisons motivent le choix d'un calendrier d'irrigation par les agriculteurs. Ils ont recouru à des indicateurs et le, plus courant (37%) est à l'état de la plante (fanée), ou bien ils appliquent par un programme prédéfini (30.5%). Ils peuvent moduler selon l'état du sol (17%) et les aléas du climat (14%) (T° élevée, vent). Cependant en quelques occasions, ils attendent simplement leur tour d'eau (1%) pour irriguer. À Almería, l'irrigation basée sur l'expérience collective repose sur des horaires fixes adaptées aux conditions climatiques et à la performance des cultures (Thompson et al., 2007a in Gallardo et al., 2013 in GAP, 2013).

- **Pilotage des irrigations**

Dans la présente étude, la fréquence des irrigations est de 3 à 4 jours en automne/hiver et de 2 à 3 jours au printemps/été. Dans la région d'Almeria (Sud-Est de l'Espagne) la fertigation et les fréquences d'irrigation vont de tous les jours dans des conditions chaudes à tous les 3-4 jours en hiver (Gallardo et al., 2013 in GAP, 2013).

Quant au volume d'eau consommé, nous l'avons établi à partir de la moyenne totale des réponses et selon les temps des irrigations/mois indiqués par les agriculteurs. Une simple approximation basée sur ces éléments permet d'établir un ordre de grandeur du moyen de l'eau consommée par serre et par année culturale de 4704 m³/serre (Tab.18). Confronté au référentiel locale de l'ITCMI, cette quantité paraît abérante (sur-estimée) car elle est proche de la quantité d'eau de 5000 m³/ha qui est exigée pour la culture de tomate.

Aussi, Fernández et al. (2007) in Gallardo et al., (2013) in GAP (2013) reportent que l'approvisionnement annuel moyen en eau à Almería était de 444 mm (4440 m³/ha) pour les cultures sur le sol⁸⁷ pour les serres à cultures à un ou deux cycles par an). Le volume total appliqué pour une culture de tomate sous serre pendant un cycle cultural d'Automne-printemps dans la région d'Almeria est de 558 mm (5580 m³/ha) selon Carreño et al. (2000) in Gallardo et al. (2013) in GAP (2013).

Des différences peuvent exister entre types de culture, nombre de cycles, débits des goutteurs, pente du terrain, fréquence et conditions climatiques.

⁸⁷ Par opposition à hors sol

Tableau 18 : Mode de calcul de l'eau consommée par année culturale pour les cultures sous serre.

Données			Calculs		
Mois	Temps moyen d'irrigation	Fréquence entre deux irrigations)	Nombre d'irrigations / saison	Temps total irrigation	Volume d'eau correspondant
Unités	Heures	Jours	Nombre	Heures	Litres
A	B	C	D (=A*C)	E (=B*D)	G (=E*F)
Sept-Oct-Nov	1,91 ± 1,28	≈ 3 ± 1 (10 fois/mois)	30	57,3	916800
Déc-Jan-Fév	1,66 ± 1,36	3 ± 1 (10 fois/mois)	30	49,8	796800
Mars – Avril	2,53 ± 1,98	2 ± 1 (15 fois/mois)	30	75,9	1214400
Mai –Juin	3,7 ± 3,83	≈ 2 ± 1 (15 fois/mois)	30	111,0	1776000
(F) = Le débit d'irrigation qui est de 16000 Litres/heures					4704000 (= 4704 m³)

Axe 10 : Usages et pratiques phytosanitaires

A. Identification des pesticides

Un total égal à **105** spécialités commerciales correspondant à **60** substances actives⁸⁸ (dont 3 fongicides inorganiques) appartenant à environ **28** familles chimiques⁸⁹ a été cité par les agriculteurs enquêtés (**annexe 8**). Parmi ces 105 produits pesticides: 44.76 % sont des spécialités fongicides, 40 % des insecticides et 15.23 % des acaricides. Les herbicides bien que mentionnés pour le contrôle des mauvaises herbes sous serre par quelques enquêtés, ne font référence à aucun nom commercial, ni matière active renseignés. Les insecticides et les fongicides sont plus utilisés dans les tomates cultivées en serre que dans les tomates cultivées dans les systèmes conventionnels (plein champs) (Bojacá et al., 2013).

Le tableau 19 présente une comparaison de nos résultats d'enquête avec ceux de l'étude de Belhadi et al. (2016). Leur étude sur les pratiques phytosanitaires a été menée dans la région du Ziban Ouest (communes d'EG, D et L) d'Octobre 2011 à juin 2012 (deux campagnes au préalable à la nôtre) et dont les résultats ont été publiés récemment (en 2016).

⁸⁸ Qu'on a identifié en se référant à l'index phytosanitaire de 2007.

⁸⁹ Qu'on a identifié grâce à la PPDB.

Nous avons constaté que l'étude de Belhadi et al. (2016) décelée un nombre égale à 187 SA représentées par 85 spécialités commerciales. En comparaison, dans la présente étude 60 SA sont représentées par 105 spécialités commerciales ce qui montre une multiplication des spécialités commerciales pour un nombre de SA réduits et l'on peut supposer qu'il y a eu beaucoup de spécialités et produits génériques fabriqués avec des concentrations différentes des mêmes SA. Aussi, dans la présente étude, le nombre de substances actives (60) correspondant a diminué d'une façon considérable atteignant à peu près le 1/3 du nombre affiché lors de la campagne 2011-2012, nous pensons que cette diminution est due aux restrictions légales avec des retraits d'homologation de certaines SA. Cette diminution est due peut être aussi à une plus grande vigilance sur les frontières, limitant le trafic illégal des produits phytosanitaires.

Le nombre de produits insecticides lors de la première étude était plus important car l'étude en question a porté sur 9 mois et a pu prendre en compte deux cultures en rotation intra-annuelles (tomate-melon par exemple) ce qui a augmenté le nombre de SA et celui des insecticides en particulier. Les auteurs rapportent que les SA les plus représentées sont l'abamectine (6,95%), la lambda-cyhalothrine (4,81%), l'acétamipride (4,27%), les couples mancozèbe-**hexaconazole** (3,21%) et cyperméthrine-**imidaclopride** (3,74%).

La liste des 187 substances actives inventoriées par Belhadi et al. (2016) aurait pu nous être d'une grande utilité, mais il faut également reconnaître que beaucoup d'éléments ont changé ces dernières années. Une limitation de notre étude est que nous n'avons pas pris en compte les SA qui entrent dans l'enrobage des graines et semences, alors que ces traitements peuvent être sources de contamination. En effet dans l'expérience de terrain conduite en Suède par Kuhlau (2008), deux des SA présentes dans la préparation d'enrobage des graines de colza à savoir le métalaxyl (Phénylamide) et le bitertanol (Triazole) ont été détectées dans les échantillons d'eau environ deux semaines après le semis, confirmant que les préparations d'enrobage des graines peuvent être lixiviées dans le sol.

B. Statut réglementaire des SA rapportées

Sur le plan algérien (annexe 5 et 9), seules 5 ($\approx 8\%$) des 60 SA signalées d'usage par les agriculteurs ont été retirées d'homologation fin 2013, nous citons : le méthomyl, le zinèbe, le dinocap, l'amitraz, l'endosulfan et le dicofol.

Sur le plan européen (annexe 9), 9 SA (15%) de cette même liste sont non approuvées d'usage, il s'agit du carbendazim, du zinèbe, du dinocap, de l'amitraz, de l'endosulfan, du dicofol, du diazinon, de l'hexaconazole et du thiocyclam hydrogène oxalate. Cependant, selon le site de la PPDB (dernière mise à jour 22/02/2017), le carbendazim est toujours utilisé dans les pays suivant : Autriche, Espagne, Pologne, Portugal, Roumanie et dans le Royaume Unis (Grande Bretagne). Selon la même source, l'endosulfan demeure encore utilisé en Espagne. Rappelons qu'il existe au Sud-Est de l'Espagne la plus grande région de culture sous serre dans le bassin méditerranéen dédiée à la production intensive de légumes : « Almeria » (Gallardo et al., 2013 in GAP, 2013). Aussi malgré qu'il soit approuvé d'usage en Europe, seuls les pays suivants utilisent encore le méthomyl : la Bulgarie, Chypre, la Grèce, l'Espagne, l'Hongrie, l'Italie, Malte, le Portugal et la Roumanie.

Tableau 19: Comparaison entre la présente étude et l'étude de Belhadi et al. (2016) concernant les usages phytosanitaires.

Caractéristiques		Etude Belhadi et al. (2016)	Présente étude	Observations
Nombre de localités		03	06	-
Localisation		Ziban Ouest : El Ghrous, Doucen, Lioua	Ziban Ouest : El Ghrous, Doucen, Lioua Ziban Est : M'Ziraa, Ain Naga, Sidi Okba	Les mêmes localités enquêtées côté Ouest
Nombre d'agriculteurs enquêtés		66	63	Un nombre plus important d'enquêtés/commune dans la 1 ^{ère} étude
Campagne (enquête)		2011/2012	2013/2014	2 campagnes de différence.
Spécialités commerciales répertoriées		85	105	Le nombre de SA était plus important dans la 1 ^{ère} étude pour un nombre de spécialités commerciales moins important que la présente étude.
Nombre de substances actives		187	60	
Spécialités (%)	Insecticides	44.78	40	Le % d'insecticides était plus important que celui des fongicides lors de la 1 ^{ère} étude.
	Fongicides	41.72	44.76	
	Acaricides	4.30	15.23	
	Insec-Acari	8.59	-	
Nombre de familles chimiques		-	28 (dont 1 non organique)	
Familles chimiques		- Pyréthriinoïdes ; - Triazoles ; - Organophosphorés	- Triazoles ; - Carbamates ; - Pyréthriinoïdes,...	Classement d'après importance en nombre de SA que les familles regroupent.
			- Avermectines ; - Néonicotinoïdes ; - Triazoles,...	Classement d'après importance en nombre de SA déclarées par les serristes enquêtés.

C. Usage des pesticides

Dans ce qui va suivre, nous apporterons des informations sur le nombre de substances actives utilisées, leurs familles chimiques, le nombre de spécialités commerciales correspondantes et les plus importantes firmes productrices, nous calculerons les fréquences et dresserons des calendriers des traitements.

C.1 Usage par Substances actives

Les enquêtés utilisent de 1 à 24 Substances actives pour une moyenne de sept substances actives tout type d'usage confondu (insecticides, acaricides et fongicides).

Nous pensons que le nombre plus important de SA moyen total à M'Ziraa est légèrement biaisé parce que l'un des agriculteurs enquêté était également grainetier et sur-citer les SA par sa double compétence de vendeur et agriculteur. Les moyennes des usages de SA des agriculteurs enquêtés des communes de Ain Naga et d'El Ghrous sont de 7.35 et 6.87 respectivement et sont les plus proches à la moyenne globale égale à 7.16 (Tab.20). Rappelons que ces deux communes tiennent la tête de liste en superficies serricoles côté Est et Ouest respectivement.

Tableau 20: Nombre moyen de substances actives utilisé/cycle cultural.

Nombre moyen de substances actives utilisé/cycle						
Moyenne générale	Moyenne/Commune					
	MZ	AN	SO	EG	D	L
7.16	11	7.35	4,25	6.87	4,36	8,7

Il ne faut pas oublier de signaler qu'il existe des SA comme le thirame (fongicide appartenant à la famille des Carbamates) et d'autres substances chimiques qui enrobent les semences pour les protéger des maladies et ravageurs et qui sont signalées sur les emballages des semences et qui peuvent échapper à la connaissance de l'agriculteur.

C.2 Usage par familles chimiques

Les substances actives utilisées appartiennent en moyenne à presque 6 familles chimiques, ce qui s'explique par le recours parfois à deux substances actives voir plus appartenant à une même famille. Les moyennes des usages de familles chimiques des agriculteurs enquêtés des communes d'Ain Naga et d'El Ghrous égale à 5.85 et 5.87 respectivement sont aussi les plus proches à la moyenne générale égale à 5.83 (Tab.21).

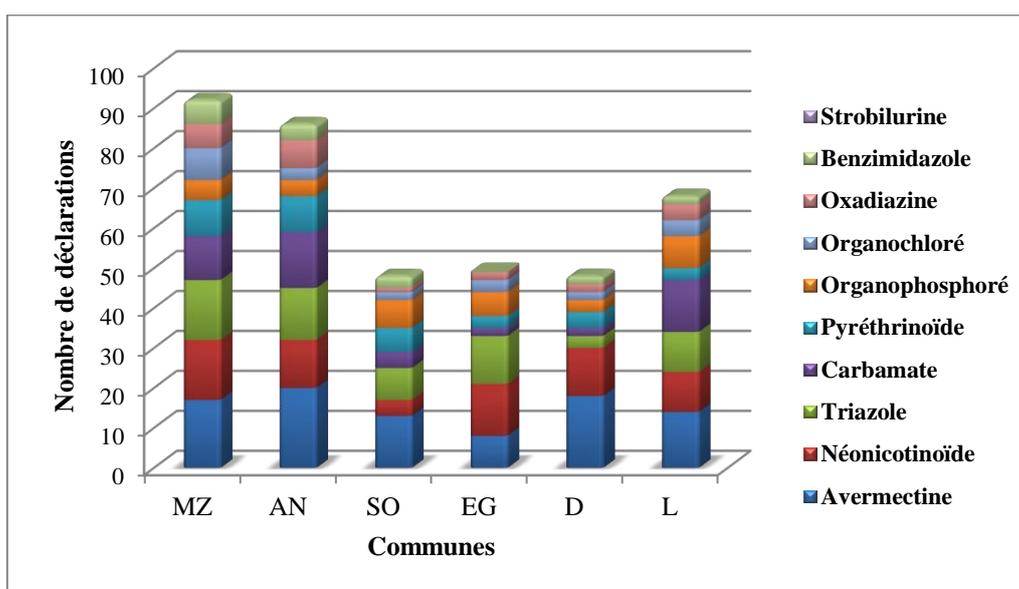
Tableau 21 : Nombre moyen des familles chimiques d'appartenance des SA utilisées.

Nombre moyen de familles chimiques utilisé/cycle						
Moyenne générale	Moyenne/Commune					
	MZ	AN	SO	EG	D	L
5.83	8,6	5,85	3,75	5,87	3,81	6,9

Les dix familles qui ont été le plus rapportées (Fig.16) par les serristes sont : 1) les Avermectines, 2) les Néonicotinoïdes, 3) les Triazoles, 4) les Carbamates, 5) les Pyréthriinoïdes de synthèse, 6) les Organophosphorés, 7) les Organochlorés, 8) les Oxadiazines, 9) les Benzimidazoles et 10) les strobilurines.

Cependant, l'importance des familles par rapport au nombre de SA qu'elles regroupent est comme suite : 1) Triazoles ; 2) Carbamates ; 3) Pyréthriinoïdes de synthèse ; 4) Organophosphorés, 5) Strobilurines, 6) Néonicotinoïdes. Il faut Rappel que la reconnaissance des familles chimiques auxquelles appartiennent les SA a été réalisée par l'intermédiaire de la PPDB.

D'autres familles chimiques (annexe 8) sont également sollicitées par les agriculteurs, il s'agit dans l'ordre décroissant des : Anthranilique-diamides, Composés inorganiques, Acétamides, Formamidines, Phenylamides, Anilinopyrimidines, Phenylpyrroles, Quinolines, Chloronitriles, Spinosynes, Dicarboximides, Oxazoles, Diacylhydrazines, Carboxamides, Tetrazines, Benzamides, Dinitrophénols.

**Figure 16**: Les 10 plus importantes familles chimiques de pesticides/communes (d'après le nombre de déclaration).

Quelques familles chimiques sont représentées par 2 SA à l'exemple des *Avermectines* (abamectine et emamectine-benzoate) ; *Benzimidazoles* (carbendazim et méthylthiophanate) ; *Organochlorés* (endosulfan et dicofol) ; *Phenylamide* (métalaxyl et métalaxyl-M) ; par 3 SA à l'exemple des *Composés inorganiques* (cuivre, oxychlorure de cuivre et soufre) ; par 4 SA *Néonicotinoïdes* (acétamipride, imidaclopride, thiaclopride et thiamethoxam) ; *Organophosphorés* (chlorpyrifos-éthyl, diazinon, éthoprophos et fosétyl-alluminium) ; *Strobilurines* (azoxystrobine, krésoxim –méthyle, pyraclostrobin et trifloxystrobin) ; *Les Pyrétrinoïdes* de synthèse sont représentés par 5 SA (acrinathrine, cyperméthrine, deltaméthrine, lambda cyhalothrine et tefluthrine) ; les *Carbamates* sont représentées par 7 SA (mancozèbe, manèbe, méthomyl, oxamyl, propamocarb, propinèbe et zinèbe). Enfin, *les Triazoles* sont représentées par 8 SA (bromuconazole, difénoconazole, epoxiconazole, hexaconazole, myclobutanil, penconazole, tebuconazole et triadiménol). La majorité de ces familles figure dans la liste top10 des familles les plus sollicitées par les serriculteurs.

Il est utile de signaler que, l'abamectine était la SA la plus déclarée des Avermectines. Le méthylthiophanate, la SA la plus utilisée des Benzimidazoles, cependant cette dernière se dégrade en carbendazim. Le propamocarbe, détecté seulement sur les sites du Zab Est (MZ, AN, SO) était la SA la plus signalée des Carbamates. L'acétamipride était la SA la plus citée des Néonicotinoïdes, suivie par l'imidaclopride, cette dernière SA était signalée sur les trois sites du Zab-Est et seulement à El Ghrous côté Ouest. L'endosulfan était la SA la plus renseignée des Organochlorés. Le chlorpyrifos-éthyl était la SA la plus utilisée des Organophosphorés suivie par l'éthoprophos qui est un insecticide et nématicide déclaré seulement par les serristes du Zab Ouest indiquant la présence de nématodes ; le fosétyl-alluminium seul fongicide des Organophosphorés a été uniquement déclaré par ceux du Zab Est. La cyperméthrine suivie de la lambda-cyhalothrine étaient les SA les plus utilisées des Pyrétrinoïdes de synthèse.

L'azoxystrobine était la SA la plus mentionnée des Strobilurines suivie par la trifloxystrobine déclarée uniquement par les serristes du Zab Est (MZ, AN et SO) et la pyraclostrobine renseignée uniquement à la commune d'El Ghrous (Zab Ouest).

En plus du penconazole en tête des SA appartenant à la famille des Triazoles, on a trouvé que le triadiménol, le difénoconazole et l'hexaconazole étaient bien renseignés également. Le difénoconazole a été déclaré le plus à Ain Naga, Sidi Okba et El Ghrous. Tandis que l'hexaconazole a été seulement déclaré sur les sites de Sidi Okba (Zab Est) et Lioua (Zab Ouest).

C.3 Usage par spécialités commerciales

Le nombre moyen calculé de spécialités commerciales ayant été utilisé est de 3, 2 et 1 pour les insecticides, les fongicides et les acaricides respectivement (Tab.22). On observe que les usages moyens par spécialité des communes d'El Ghrous, Ain Naga et Lioua sont ceux qui se rapprochent le plus des moyennes totales enquêtés/ spécialité insecticides, fongicides et acaricides. On remarque également que la moyenne totale des spécialités commerciales et matières actives renseignées sont proches, 7.13 et 7.16 respectivement.

Tableau 22: Nombre moyen de spécialités commerciales utilisées/spécialité.

Usages	Nombre moyen de spécialités commerciales						
	Total enquêtés	Par commune					
		MZ	AN	SO	EG	D	L
Insecticides	3,36	5,3	3	1,62	3,37	2,81	3,9
Acaricides	1,36	1,4	1,5	1,5	1,37	1,27	1,1
Fongicides	2,40	4	2,92	1,87	2,25	0,72	2,5
Total	7,13	10,7	7,35	5	7	4,81	7,6

- **Firmes**

Chaque substance active est représentée sur le marché par une multitude de produits commerciaux qui appartiennent eux-mêmes à différentes firmes. Le fait de savoir quelles sont les spécialités commerciales les plus en usage va nous aider à interroger l'authenticité d'un produit et de son efficacité selon le rang et la renommée de la firme qui le produit.

La liste (annexe 10) illustre les produits commerciaux les plus renseignés, ainsi que les firmes productrices. Les firmes ont été identifiées à partir de l'index des produits phytosanitaires édition 2007.

Il apparaît que les produits déclarés sont produits par les leaders de l'industrie de l'agrochimie : Syngenta, Dupont, Bayer, DowagroScience, nous pouvons avancer que les agriculteurs aux Ziban préfèrent généralement utiliser des produits phytosanitaires de qualité et de sources estimées sûres.

C.4 Usage par formulation

La formulation d'un pesticide consiste à déterminer la composition chimique et la présentation physique d'une préparation phytosanitaire, prête à l'emploi. La composition chimique étant vu plus haut, on s'intéresse dans ce paragraphe aux présentations physiques des pesticides. Cette formulation du pesticide représente selon Voltz et al. (2005) une propriété fondamentale conditionnant la disponibilité de la matière active pour les transferts. Gish et al. (1994) ont

démontré que la Starch-encapsulated (SE)-atrazine (atrazine contenue dans des capsules d'amidon) est plus persistante et moins mobile qu'une formulation commerciale (CF) d'atrazine. De même l'alachlore encapsulé dans l'amidon était légèrement plus persistant que le CF-alachlore.

Rathore et Nollet (2012) rapportent que les formulations granulaires⁹⁰ (GR) persistent plus longtemps que les émulsions⁹¹ qui persistent encore plus longtemps que les poudres mouillables⁹² (WP ou W). Belhadi et al. (2016) avaient trouvé dans leur étude sur les pratiques phytosanitaires au Ziban Ouest (Biskra, Algérie) que parmi la gamme de pesticides recensés, 44,12% étaient des concentrés émulsionnables (EC), 15,90% des poudres mouillables (WP) et 14,71% des concentrés solubles (SC). Dans la présente étude, à peu près le tiers des pesticides (32,38 %) sont formulés comme des concentrés émulsionnables (EC) ; les poudres mouillables (WP) et les concentrés solubles (SC) représentent 18,09% et 17,14 % respectivement, ces trois formulations totalisant 67,61% du total. Donc une importante part des SA qui circulaient au Ziban auraient une persistance plus importante au vu de leur formulation. Le reste des formulations sont, des granulés à disperser dans l'eau (WG : 11,42%), des concentrés solubles (SL : 9,52%), des poudres solubles dans l'eau (SP : 4,76%) ; Les granulés (GR), les émulsions aqueuses (EW) et les poudres pour poudrage (DP) étaient représentés par 1,90% chacun et enfin des dispersions huileuses (OD) avec moins de 1%.

C.5 Usage de mélanges

Au Vietnam, les agriculteurs étudiés par Van Hoi et al. (2009) sont conscients que les pesticides bon marché utilisés séparément, n'ont qu'un effet limité sur les bioagresseurs. Par conséquent, la pratique est de combiner les SA dans des «cocktails» surtout quand les attaques sont sévères. Ces cocktails consistent en l'association de plus de deux types différents de pesticides. De même, les producteurs de légumes au Ghana produisent des cocktails de divers pesticides pour augmenter la puissance des composés (Ntow, 2008) . Au Ghana toujours, dans l'étude d'Avicor et al. (2011) environ 30% des 60 agriculteurs enquêtés en région cotonnière et légumière utilisent des cocktails d'insecticides. De même, dans le nord de la Tanzanie où se pratique les cultures horticoles (légumes, fleurs, fruits) un tiers des agriculteurs enquêtés (N=61) avaient appliqué des pesticides mélangés et jusqu'à 90% d'entre-eux avaient un maximum de 3 pesticides dans un mélange. Dans tous les cas, les étiquettes ou les

⁹⁰ Sont similaires aux formulations de poussières, sauf que les particules granulaires sont plus grandes et plus lourdes ;

⁹¹ Une émulsion se produit lorsqu'un liquide est dispersé (sous forme de gouttelettes) dans un autre liquide ;

⁹² Formulations sèches et fines qui ressemblent à des poussières. Ils doivent généralement être mélangés avec de l'eau pour une application sous forme de spray (Brown & Balch, 1987).

vulgarisateurs n'ont pas donné d'instructions précises concernant ces mélanges (Ngowi et al., 2007) et cette pratique est déconseillée et/ou illégale dans la plupart des pays. Les autorisations de mise sur le marché étant autorisées par spécialités commerciales formulées par l'industriel.

Dans la présente étude, plusieurs agriculteurs enquêtés ($\approx 8\%$) ont indiqués qu'ils faisaient des mélanges/mixtures ou cocktails de spécialités, le plus souvent constitués de deux produits ou SA appartenant souvent à la même famille chimique et ce pour augmenter l'efficacité du traitement et/ou traiter plus d'un bio-agresseur en même temps.

Les mélanges référencés par cette étude sont les suivants :

- **Triadiménol/difénoconazole** (Bayfidan/Score) : appartenant aux Triazoles contre l'oïdium ;
- **Propinèbe/mancozèbe** (Propinèbe/Curzate) : appartenant aux Carbamates contre le mildiou ;
- **Acétamipride/acétamipride** (Mospilate/Vapcomor) : appartenant aux Néonicotinoïdes contre la mouche blanche et le puceron ;
- **Endosulfan/acétamipride** (Thiodan/ Wide, Spendos/ Mospilate, Prosulfan/Acétaplan) : une mixture entre une SA Organochlorée et une autre appartenant aux Néonicotinoïdes contre la mouche blanche et le puceron.

On peut envisager des effets néfastes sur le manipulateur et l'environnement des mélanges hasardeux faits par ces agriculteurs d'autant plus qu'au niveau d'un seul produit il ya des adjuvants dont on ignore l'effet solitaire alors qu'en est-il d'un effet cumulatif et complexe. Aussi, Les mixtures sauvages peuvent influencer la persistance, l'adsorption et la mobilité des SA qui les composent. Par exemple Fogg (2004) rapporte que dans la couche arable, la valeur DT_{50} d'isoproturon⁹³ a augmenté de 18,5 à 71,5 jours en présence du chlorothalonil.

D. Fréquence des traitements phytosanitaires/cycle cultural

Nos résultats concernant le nombre de traitements moyen par cycle sont similaires à ceux trouvés par Rekibi (2015) dans la commune d'Ain Naga, wilaya de Biskra. Selon Snoussi (2010), les agriculteurs en Algérie en effectuent en moyenne 15 à 20 traitements par serre tunnel tout au long du cycle végétatif d'une culture avec des produits de synthèse (Snoussi, 2010) cela correspond aux résultats trouvés aux Ziban (cf détails Tab.23). En considérant

⁹³ SA herbicide non approuvée par les pays européens, appartenant à la classe des Urées.

cette valeur moyenne et en prenant en compte qu'une culture de tomate dure 6 mois, on estime que les agriculteurs traitent à une fréquence de 3 fois/mois ce qui revient à un traitement chaque dix jour, ce qui devrait être acceptable vu que la majorité des produits ont des délais avant récolte compris entre 3 et 7 jours (pour les cultures maraîchères).

Tableau 23: Nombre moyen des traitements phytosanitaires effectués/type d'usage/cycle cultural.

Usage	Nombre de traitements phytosanitaires/cycle cultural							
	Rekibi (2015)	Présente étude (moyenne)						
		Total enquêtés	MZ	AN	SO	EG	D	L
Insecticides	De 8 à 10	10	14	8	8	10	11	8
Acaricides	De 2 à 4	4	5	4	4	5	5	3
Fongicides	De 4 à 6	5	9	5	4	5	2	5
Total		19	28	17	16	20	18	16

E. Quantification des pesticides apportés sous système serricole

La quantification des apports est difficile, vu que tous les produits ne sont pas déclarés systématiquement par la totalité des enquêtés.

Une estimation a été réalisée produit par produit à l'unité d'une serre (400m²) (dose moyenne par rapport aux enquêtés ayant déclaré le produit en question) et les doses obtenues ont été rapportées à l'hectare ou à l'hectolitre. Ces « doses moyennes utilisées » comparées aux doses préconisées (homologuées) (annexe 11) permettront de déceler les tendances de sur-dosage ou de sous-dosage. Elles montrent que les agriculteurs répandent de manière conformément aux doses de pesticides prescrites par le fabricant, et là aussi c'est généralement la dose maximale préconisée (s'il s'agit d'intervalle). On peut penser que leurs réponses sont dues soit à des oublis des doses appliquées ou alors qu'ils pensent que c'est la meilleure réponse à nous fournir.

Cependant, quelques dépassements des doses préconisées ont été enregistrés pour quelques produits commerciaux et pour quelques serriculteurs enquêtés dont 11 insecticides, 5 acaricides et 8 fongicides. Ce qui témoigne d'une tendance vers le sur-apport de produits pesticides en milieu serricole. Un sous-dosage est enregistré pour 2 insecticides, 3 acaricides et 5 fongicides (annexe 11).

Une quantification (Tab.24) en but d'établir la quantité moyenne de produits pesticides apportés à l'hectare de serre pendant un cycle cultural annuel l'équivalent de 2 cycles culturaux (environ 50% des serristes enquêtés pratiquent la rotation intra-annuelle=deux cultures successives pour une même année) à été réalisée en combinant les différentes données d'enquêtes issues des différentes parties enquêtés: 1) Classement SA des vendeurs et Spécialités les plus déclarées les contenant et 2) Le nombre de SA moyen apportées par les agriculteurs, 3) Les fréquences moyennes pour chaque type d'usage par les agriculteurs et 4) Les quantités homologuées à l'hectare pour chaque SA choisie dans chaque cas.

La formule suivante a été appliquée:

$$Q_{\text{pest.T}}^{\text{te}} = (Q_{\text{I1}}^{\text{te}} + Q_{\text{I2}}^{\text{te}} + Q_{\text{I3}}^{\text{te}})/3 * \text{Frq}_{\text{moyI}} + (Q_{\text{F1}}^{\text{te}} + Q_{\text{F2}}^{\text{te}})/2 * \text{Frq}_{\text{moyF}} + (Q_{\text{A1}}^{\text{te}})/1 * \text{Frq}_{\text{moyA}}, \dots (1).$$

Où :

- $Q_{\text{pest.T}}^{\text{te}}$: est la quantité totale de pesticides utilisée à l'hectare exprimée en kg;
- $Q_{\text{I1}}^{\text{te}}$, $Q_{\text{I2}}^{\text{te}}$ et $Q_{\text{I3}}^{\text{te}}$: sont les quantités homologuées (g ou l par ha) des 3 insecticides les plus déclarés;
- $Q_{\text{F1}}^{\text{te}}$ et $Q_{\text{F2}}^{\text{te}}$: sont les quantités homologuées (g ou l par ha) des 2 fongicides les plus déclarés ;
- $Q_{\text{A1}}^{\text{te}}$: est la quantité homologuée (g ou l par ha) de l'acaricide le plus déclaré ;

Important : Il est utile de signaler qu'en multipliant une dose d'emploi exprimée en g/hl ou l/hl par 10 on peut la transformer en dose d'emploi à l'hectare (g/ha et l/ha). Aussi, pour les besoin de calcul, on a supposé que 1l =1kg.

Frq_{moyI} , Frq_{moyF} , Frq_{moyA} : sont les fréquences moyennes d'usage des I, F et A égaux à 10, 5 et 4 respectivement (Cf Tab.23), donc la formule devient :

$$Q_{\text{pest.T}}^{\text{te}} = (Q_{\text{I1}}^{\text{te}} + Q_{\text{I2}}^{\text{te}} + Q_{\text{I3}}^{\text{te}})/3 * 10 + (Q_{\text{F1}}^{\text{te}} + Q_{\text{F2}}^{\text{te}})/2 * 5 + (Q_{\text{A1}}^{\text{te}})/1 * 4 \dots (2)$$

L'équation (2) donne les quantités en termes de spécialités commerciales et non en terme de substances actives, si l'on veut trouver les quantités en termes d'ingrédients actifs, l'équation (2) prend cette forme et ce pour un seul cycle cultural :

$$Q_{\text{SA.T}}^{\text{te}} = (Q_{\text{I1}}^{\text{te}} * \text{SAI1} + Q_{\text{I2}}^{\text{te}} * \text{SAI2} + Q_{\text{I3}}^{\text{te}} * \text{SAI3})/3 * 10 + (Q_{\text{F1}}^{\text{te}} * \text{SAF1} + Q_{\text{F2}}^{\text{te}} * \text{SAF2})/2 * 5 + (Q_{\text{A1}}^{\text{te}} * \text{SAA1})/1 * 4 \dots (3)$$

Où :

- ❖ SAI, SAF et SAA sont les concentrations en substances actives insecticide, fongicide et acaricide dans les spécialités commerciales correspondantes (indiquées sur emballage).

De plus, une fois la quantité totale moyenne de SA apportée par hectare de serre sera calculée on la multipliera par 2 en référence au nombre de cycle cultural par année. L'équation (3) devient alors :

$$Q^{té}_{SA,T} = [(Q^{té}_{I1} * SAI1 + Q^{té}_{I2} * SAI2 + Q^{té}_{I3} * SAI3) / 3 * 10 + (Q^{té}_{F1} * SAF1 + Q^{té}_{F2} * SAF2) / 2 * 5 + (Q^{té}_{A1} * SAA1) / 1 * 4] * 2 \dots (4)$$

Selon la formule (4), les quantités d'ingrédients actifs consommés sous système serricole au Ziban (dans la présente étude) varient de 1.65 kg/ha/an à 12,6 kg/ha/an à partir de données d'agriculteurs et des vendeurs respectivement, ce grand écart est dû principalement aux spécialités commerciales utilisées et aux concentrations en SA correspondantes. Aussi, les insecticides représentent la moitié de la quantité dans le cas du calcul-agriculteurs (Tab.24) et pour les deux quantités calculées vendeurs et agriculteurs, les fongicides représentent 39%. En multipliant la quantité moyenne à l'hectare par la superficie serricole déclarée (3550 ha) par les services de la DSA on obtient des quantités avoisinant les 6 à 45 tonnes d'ingrédient actifs/an dans le premier (agriculteurs) et le deuxième (vendeurs) cas respectivement.

En comparant la dose apportée par le calcul à partir des données des agriculteurs (1.65 de SA/ha de serre et par an) à celles apportées en production légumière sous serre pour quelques pays méditerranéens qui sont de l'ordre de 0.47 kg/ha en Turquie, 4.41 kg/ha en Grèce, 5.25 kg/ha en Italie, 3.09 kg/ha en Espagne, 8.36 kg/ha au Portugal, 4.24 kg/ha en France (Tüzel et Düzyaman, 2009) on constate que la consommation à l'hectare de SA pesticides (toutes usages confondus) est inférieure à celle de tous les pays mentionnés à l'exception de la Turquie.

Il faudrait se rappeler que c'est une dose moyenne et que dans la formule (4) la fréquence totale peut aller jusqu'à 28 traitements (commune de M'Ziraa) ce qui augmenterait considérablement cette dose de SA à l'hectare. Ce calcul aussi ne tient compte que des usages agricoles déclarés et sous système serricole seulement.

Tableau 24 : Calcul des quantités (kg/ha/année) de substances actives apportées sous système serricoles dans la région des Ziban.

Parties enquêtées	1 seul Vendeur PPS (2012)				6 Vendeurs PPS (2013)				63 Agriculteurs (2013/2014)			
	Classement SA	Spécialités commerciales	DH (1 ou kg /ha)	ConcentrationSA /spécialité (g/l ou g/kg)	Classement SA	Spécialités commerciales	DH (1 ou kg /ha)	ConcentrationSA/s spécialité (g/l ou g/kg)	Classement SA	Spécialités commerciales	DH (1 ou kg /ha)	ConcentrationSA/s spécialité (g/l ou g/kg)
3 I	endosulfan acétamipride méthomyl	Prosulfan Acétaplan Lannate	1,75 0,125 1,5	35 200 250	THO endosulfan emamectine- benzoate ⁵	Evisect Prosulfan Proact	1 1,75 0,2	500 35 50	acétamipride indoxacarbe endosulfan	Acétaplan Avaunt Prosulfan	0,125 0,25 1,75	200 150 35
2 F	hexaconazole penconazole	Hexavil Topaze	0,5 0,5	50 100	carbendazime méthyl- thiophanate	Majestine Methyl- thiophanate	1 0,7	500 700	penconazole triadimenol	Topaze Bayfidan	0,5 0,4	100 200
1 A	abamectine	Vertimec	1,25	18	dicofol	Rivafol	1	480	abamectine	Vertimec	1,25	18
Equation 4	$Q_{SAT}^{ie} = [(Q_{I1}^{ie} * SAI1 + Q_{I2}^{ie} * SAI2 + Q_{I3}^{ie} * SAI3) / 3 * 10 + (Q_{F1}^{ie} * SAF1 + Q_{F2}^{ie} * SAF2) / 2 * 5 + (Q_{A1}^{ie} * SAA1) / 1 * 4] * 2$											
Quantité de SA (kg/ha)/année* culturale	$Q_{SAT}^{ie} = [((1,75 * 35) + (0,125 * 200) + (1,5 * 250)) / 3 * 10 + ((0,5 * 50) + (0,5 * 100)) / 2 * 5 + (1,25 * 18) / 1 * 4] * 2 = 3,44 \text{ kg/ha}$				$Q_{SAT}^{ie} = [((1 * 500) + (1,75 * 35) + (0,2 * 50)) / 3 * 10 + ((1 * 500) + (0,7 * 700)) / 2 * 5 + (1 * 480) / 1 * 4] * 2 \approx 12,6 \text{ kg/ha}$				$Q_{SAT}^{ie} = [((0,125 * 200) + (0,25 * 150) + (1,75 * 35)) / 3 * 10 + ((0,5 * 100) + (0,4 * 200)) / 2 * 5 + (1,25 * 18) / 1 * 4] * 2 = 1,65 \text{ kg/ha}$			
% de chaque spécialité	89,33 % SA insecticides 5,44 % SA fongicides 12,47 % SA acaricides				30,22 % SA insecticides 39,29 % SA fongicides 30,48 % SA acaricides				49,84 % SA insecticides 39,27 % SA fongicides 10,87 % SA acaricides			

Notes: DH: dose homologuée, THO: Thiocyclam-Hydrogène-Oxalate, * 1 année culturale = 2 cycles de culture. I: insecticides, F: fongicides, A: acaricides.

F. Calendriers des traitements

À partir de la donnée « période/mois d'application » de produit nous avons pu dresser un calendrier des traitements phytosanitaires correspondant aux apparitions des principaux ravageurs et maladies pour les deux régions Est et Ouest des Ziban. Ainsi que la distribution temporelle (saisonale) des principales SA. Seules ces SA ont été reportées sur les calendriers, malgré l'existence d'un nombre plus important parce que pour elles seules quelques enquêtés avaient mentionnés le mois exacte d'application.

Selon Abdel Wali (2013) in GAP (2013), les insectes nuisibles les plus courants sur les plantes végétales comprennent les pucerons, les mouches blanches, les thrips, les tétranyques (acariens) à deux points et les lépidoptères.

Effectivement, d'après les calendriers des traitements, on constate que les plus importants ravageurs des cultures sous serre au Ziban sont les insectes suivants: mouche blanche (*Wachwacha baida*)⁹⁴, aphidés (*Ziz* ou *Assila*), la mineuse de la tomate : *Tuta absoluta* (*El khatata*), les noctuelles ou lépidoptères et les acariens (*Rétila*). Les nématodes (*Batata*) sont traités en début de saison (Septembre) avec généralement des PPS Organophosphorés (diazinon ou éthoprophos). Les thrips ont été parfois mentionnés. On a aussi détecté la présence de vers blancs (*Chehmet lardh*) dans le site de Sidi Okba. D'après les calendriers, on remarque la présence des acariens à longueur d'année culturale. Les aleurodes et les pucerons sont généralement traités avec les mêmes produits (seuls ou en mélange). La période de Décembre à février semble la moins propice pour la mineuse de la tomate. Les maladies fongiques les plus mentionnées sont, le mildiou (*El Gatra*), l'oïdium (*E'renna*) le fusarium (*Silk nouhassi*) et le botrytis. Les deux dernières maladies fongiques étant surtout annoncées par les enquêtés du Ziban Est. La maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate ou TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus) (*Ejjen*) est une maladie virale qui ne peut pas être traitée d'après les agriculteurs, cette maladie est transmise par la mouche blanche *Bemisia tabaci* qui subit plusieurs traitements.

Le calendrier de traitement des Ziban Ouest (Tab.26) laisse entrevoir un décalage d'au moins un mois par rapport à celui du Ziban Est (Tab.25) car le premier débute en Septembre-Octobre tandis que le second commence en Août-Septembre. Offrant dans le dernier cas, plus de temps aux différents traitements surtout fongiques.

⁹⁴ Les noms entre parenthèses sont ceux que les agriculteurs locaux attribuent à ces bioagresseurs.

Tableau 25: Calendrier des traitements phytosanitaires des plus importants bioagresseurs au Ziban Est et distribution des SA le long des cycles agricoles annuels.

Mois	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Mouche blanche & Puceron	indoxacarbe, thiocyclam hydrogène oxalate, endosulfan							thiocyclam hydrogène oxalate				
Mineuse de la tomate (<i>Tuta absoluta</i>)		chlorantraniliprole, indoxacarbe					chlorantraniliprole, thiocyclam hydrogène oxalate, cyperméthrine					
Nématodes		diazinon										
Noctuelles	indoxacarbe, cyperméthrine, chlorpyrifos-éthyl							indoxacarbe, cyperméthrine, chlorpyrifos-éthyl				
Acariens	abamectine, dicofol, amitraz											
Oïdium			hydroxyde de cuivre, mancozèbe-métalaxyl-M, penconazole		penconazole, difénoconazole, manèbe, propinèbe				hydroxyde de cuivre, mancozèbe-métalaxyl-M, penconazole			
Mildiou			mancozèbe, manèbe, difénoconazole				soufre, manèbe, difénoconazole					
Fusarium		propamocarbe-HCl						fosétyl-alluminium				
Botrytis					méthylthiophanate	iprodione, cyprodinil						

SA₁/SA₂: Mélange de deux SA issues de 2 spécialités commerciales différentes par l'agriculteur, SA₁-SA₂: une seule spécialité contenant initialement deux SA.

Tableau 26 : Calendrier des traitements phytosanitaires des plus importants bioagresseurs au Ziban Ouest et distribution des SA le long des cycles agricoles annuels.

Mois Ravageurs/maladies	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Mouche blanche & Puceron		acétamipride / acétamipride, acétamipride/ endosulfan, acétamipride, tebufenozide,										
Mineuse de la tomate (<i>Tuta absoluta</i>)			emamectine benzoate chlorantraniliprole					emamectine benzoate, chlorantraniliprole				
Nématodes		ethoprophos, tefluthrine										
Noctuelles							chlorantraniliprole, lambda-cyhalothrine					
Acariens		abamectine										
Oidium						triadiménol, triadiménol / difénoconazole, mancozèbe- cymoxanil- oxychlorure de cuivre, cyprodinil- fludioxonil.						
Mildiou				triadiménol	triadiménol, hexaconazole, pyraclostrobine, propinèbe, mancozèbe- cymoxanil- oxychlorure de cuivre, cyprodinil- fludioxonil.			triadiménol				

SA₁/SA₂ : Mélange de deux SA issues de 2 spécialités commerciales différentes par l'agriculteur, SA₁-SA₂ : une seule spécialité contenant initialement deux SA.

G. Coût des produits et traitements phytosanitaires

Il est sûr que le recours à tout ce nombre de pesticides engendre des frais non négligeables estimés selon l'ITCMI, (2010) à plus de 20 000 DA/serre, auquel s'ajoute 1300DA/serre de charge (main d'œuvre et matériel). En termes de charge toujours, Rekibi (2015) a constaté pour la culture de tomate sous serre dans la commune d'Ain Naga (wilaya de Biskra), que les traitements insecticides occupaient la première place avec 45% des coûts. Aussi le traitement de la mineuse (*Tuta absoluta*) occupe 63% de ces charges insecticides, par rapport aux traitements contre les autres ravageurs.

Dans le présent travail on s'est intéressé surtout à l'aspect écologique et le devenir de ces polluants. Donc quoiqu'il y avait quelques données sur les quantités utilisées/serre par quelques agriculteurs et pour quelques spécialités, le calcul des charges phytosanitaires n'a pas été effectué. Néanmoins, quelques chiffres représentant les prix d'achat de quelques spécialités peuvent être consultés en annexe 12.

H. Choix des spécialités, précaution à prendre et gestion des restes des mélanges

Selon les résultats du Tableau 27, pour acheter/utiliser un pesticides donné, plus de la moitié des serriculteurs font confiance aux vendeurs de PPS pour les orienter. 42% des serristes disent avoir eu l'habitude d'utiliser tel ou tel produit. Reste à savoir si cette habitude peut changer si une restriction d'usage du dit produit se produit.

Une proportion importante des serristes (77,27%) selon Belhadi et al. (2016) contre (37%) dans la présente étude ne prennent aucune mesure de protection lors des traitements phytosanitaires et c'est préoccupant car Staiff et al. (1975) rapportent que les applicateurs, lorsqu'ils manipulent un pesticide qu'ils ne considèrent pas particulièrement dangereux, peuvent avoir tendance à être plus négligents et à produire plus de déversements.

Dans 78% des cas, le reste de cuve est déversé à même le sol engendrant une pollution ponctuelle. Pareil pour l'eau de rinçage des réservoirs/pulvérisateurs dans 95% (présente étude) et 100% des cas selon Belhadi et al. (2016) qui ajoutent que les serristes le déversaient même à côté des sources d'eau. Ces eaux déversées constituent une source de pollution ponctuelle mais de façon répétée elles peuvent diffusées dans l'environnement (sol et sous sol) jusqu'à atteindre les aquifères.

Tableau 27: Raisons du choix des spécialités pesticides, gestion des restes de cuves et de l'eau de rinçage des cuves.

Raisons du choix du produit	<ul style="list-style-type: none"> - Par habitude : 42% - Conseils/vendeur : 52,5% - Conseils/autre agriculteur : 3% - Coût d'achat du produit : \approx 2 %
Que faites-vous des restes de cuves ?	<ul style="list-style-type: none"> - Réutilisés sur plantes : 22% - Déversés sur le sol : 78 %
Que faites-vous de l'eau de rinçage ?	<ul style="list-style-type: none"> - Réutilisé sur plantes : 5% - Déversée sur le sol : 95%

I. Pulvérisation

Tous les serristes possèdent au moins un pulvérisateur à moteur de produits phytosanitaires (avec rampe et pistolet) et plusieurs pulvérisateurs à dos (a) le plus souvent manuel de 16L et parfois des pulvérisateurs thermiques avec moteur (b) d'un volume plus important (25 L). Souvent, les agriculteurs traitent plusieurs serres à la fois, dans ce cas, les mélanges eau-produit(s) phytosanitaire(s) se font dans un baril de 200 l (c), des citernes de 500 ou 1000 l(d) (Fig.17). La quasi-totalité des serristes traitent le matin (avant les chaleurs). Nous avons constaté des équipements mal entretenus et on ne nous a pas signalé de réglage spécifique des pulvérisateurs avant usage. C'est derniers sont remplacés dès qu'ils ne sont plus fonctionnels (abimés).



Figure 17: Les pulvérisateurs à dos : a) manuel et b) thermique à moteur.

En effet, les caractéristiques des jets de pulvérisation de produits phytosanitaires déterminent l'efficacité des traitements et la pollution de l'environnement (Boukhalfa et al., 2017). Malheureusement, aucune question concernant le volet réglage et maintenance des équipements de pulvérisation n'a été posé.

L'utilisation d'un équipement de pulvérisation approprié et bien entretenu ainsi que la prise de toutes les précautions qui sont requises à tous les stades de la manipulation des pesticides pourraient minimiser l'exposition humaine aux pesticides et leurs effets négatifs potentiels sur l'environnement (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). Il paraît évident qu'un appareil mal-entretenu ou mal-réglé laissera échapper plus de SA que ce qui est préconisé et fera appel par la suite à des ajouts pour compenser les pertes. Le réglage du pulvérisateur assure que la bonne quantité de pesticides est appliquée à chaque épandage (Lalancette, 2012).

D'après l'OCDE⁹⁵ (2004) in Tellier et al. (2006) parmi les éléments de succès de la Suède qui a vu sa consommation d'ingrédients actifs passer de 1 897 Tonnes en 1990-1992 à 1 700 tonnes pour la période 2000-2002 étaient les améliorations des techniques de pulvérisation et la tenue de programmes volontaires de certification des pulvérisateurs.

J. Stockage des pesticides et gestion des emballages vides

Comme trouvé par Ramdani et al. (2009), aucun des agriculteurs enquêtés ne disposait de lieu sûr et approprié pour le stockage des pesticides. Les emballages partiellement utilisés restent accessibles et qui peuvent nuire à toutes personnes ignorante de leur danger (enfants surtout) et sont susceptibles de diffuser dans l'environnement suite à des déversements accidentels ou intentionnels. Plus de la moitié des enquêtés (55,29%) dans l'étude de Belhadi et al. (2016) jetaient ces emballages une fois vides, dans la nature.

Dans l'étude de Matthews (2008) les exploitants, principalement au Brésil (66%), en Espagne (62%) et en Pologne (34%) ont indiqué que les conteneurs ont été retournés aux distributeurs ou à un entrepreneur pour élimination, mais la plupart ont été jetés ou enterrés. Certains récipients lavés ont été réutilisés, notamment en Inde (25%), en Tanzanie (36%), au Cameroun (33%) et en Espagne (26%).

Autre que le danger vis-à-vis des ré-utilisateurs, les emballages vides peuvent constituer une source de contamination pour l'environnement surtout ceux en plastique et qui ne sont

⁹⁵ L'Organisation de coopération et de développement économiques.

- **Interprétation**

Le traitement statistique des observations par la méthode CAH au moyen du logiciel XLSTAT, fait ressortir trois classes ou types d'exploitations :

- **Classe1 (C1) : de Type « MZ dominant »** ce groupe est représenté par 17 agriculteurs (27%), il est caractérisée par une Surface Sous Serre moyenne de 4.60 ha (\approx 5 ha), 64,7% des exploitants de ce groupe utilisent simultanément du fumier ovin et volaille, 23,52% utilisent du fumier ovin seul. 58,82% et laissent les serres sur place pendant 2 années successives. Toutes les exploitations appartiennent au Zab Est, essentiellement à MZ (\approx 59%). Les serristes sont d'origine locale à 94% et sont majoritairement des propriétaires (70,58%), la moitié d'entre eux fait de la rotation, 47% et 41% font de la tomate et du piment respectivement. Ces agriculteurs plantent à 64,7% au mois de Septembre et 29,41% au mois d'Août. Presque la totalité de ce groupe (94%) fait du paillage plastique au sol. Le nombre moyen de SA totale pour ce groupe est de **10,5** tandis que le nombre de traitement total moyen est de **25,61**.
- **Classe2 (C2) : de type « petite serres »** ce groupe est le plus important en terme de nombre d'individus car regroupant 28 agriculteurs (60%), il est caractérisée par une SSS moyenne de 0.67 ha (\approx 1 ha), 44,73% utilisent aussi du fumier ovin+ volailles, 18,42 % de la fiente de volaille seule et 15,78% de l'ovin seul, il y a aussi 7,89% d'usage bovin seul. Un pourcentage de 55% laisse les serres en place pendant 2 années, contre \approx 29% qui les laisse pendant 3 années. Cette classe est représentée par les 6 communes mais la moins importante proportion était à MZ (<3%). Ils sont à 97% d'origine locale et à 76% propriétaires contre presque 24% locataires. Presque 45 % déclarent faire de la rotation. Ils font à 79% de la tomate à partir du mois de Septembre à 58% et du mois d'Octobre à presque 16%. Presque 74% ne pratiquent pas le paillage plastique. Le nombre moyen de SA totale pour ce groupe est de **5,94** tandis que le nombre de traitement total moyen est de **17,1**.
- **Classe3 (C3) : de type « Locataires à Tomate »** huit individus seulement (\approx 13%) représentent cette classe qui est caractérisée par une SSS moyenne de 0.48 ha (\approx 0.5 ha). Les serristes de ce groupe utilisent de la fiente de volailles à 50% contre 25% du fumier bovin, les 25% restantes sont des usages simultanés exigaux soit d'ovin + volailles ou de Bovin + volailles. 62,5 % optent pour laisser les serres pendant 3 saisons au même emplacement contre 2 années pour 25% des cas. 75% des exploitants sont situés au Ziban Ouest (50% à Lioua et 25% à El Ghrous) les 25% restants

représentent Ain Naga. Leur origine cependant n'est pas locale à 100%. Et sont à 75% des locataires et 25% gérants. Ils sont équitablement répartis quant à la rotation. Ils ne pratiquent que la tomate, 62,5 font la plantation au mois d'Octobre, le reste la fait au mois de Septembre. Au sein de ce groupe, les agriculteurs ne font pas recours au paillage. Le nombre moyen de SA totale pour ce groupe est de **7,5** tandis que le nombre de traitement total moyen est de **14.5**.

En comparant les nombres de SA et de traitements des 3 classes à ceux moyens de la totalité des enquêtés (Fig.19), on peut dire que la C1 surpasse la moyenne générale en terme de SA et en terme de fréquence, ce qui peut être justifié par la plus importante superficie serricole mais aussi par une aisance financière. La C2 est la plus proche à la moyenne pour la fréquence mais est en dessous du nombre de SA moyen. Le contraire est vrai pour la C3, effectivement, le nombre de SA est proche de celui de la moyenne tandis que la fréquence est moindre. D'une façon générale, on peut dire que la deuxième classe est la plus proche car elle regroupe des individus de toutes les localités avec un plus important pourcentage d'enquêtés.

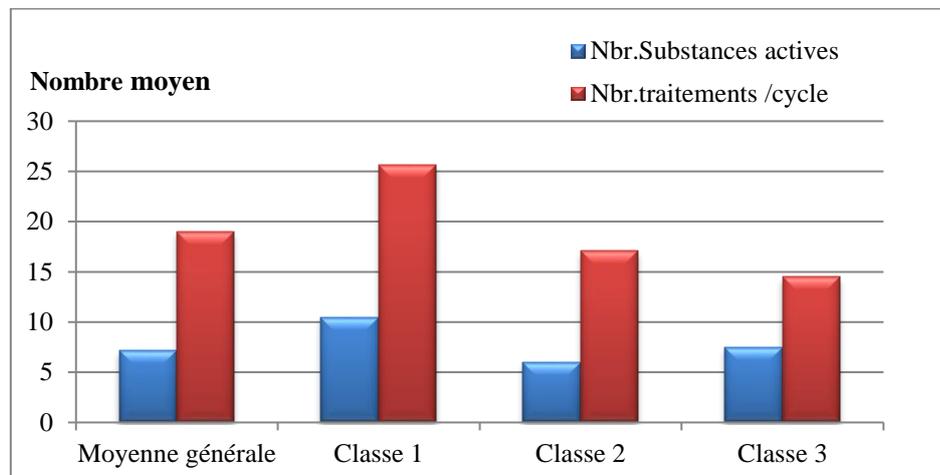


Figure 19: Comparaison : nombre de SA et traitement moyens (total enquêtés) et des 3 classes obtenues par la CAH : 1 = Grandes serres, 2 type petites serres ; 3 locataires à Tomate.

1.2.4 Données à partir d'observations indépendantes

Un tableau en annexe 13 englobe toutes les substances actives et spécialité commerciales qui ont pu être observées lors des sorties sur les différents emballages de pesticides jetés dans la nature. Beaucoup d'entre-elles étaient déjà reportées et citées soit par les vendeurs soit par les agriculteurs. Néanmoins, 2 SA s'ajoutent à la liste, il s'agit d'un insecticide : le

betacypermethrine (Pyréthroïde de synthèse) représenté par le produit « Check » et d'un herbicide le glyphosate (Phosphonoglycine) représenté par « Mamba », le seul herbicide rapporté dans cette étude par ce moyen.

Conclusions

D'après les résultats des enquêtes et observations obtenues et qui sont en rapport avec les usages et pratiques phytosanitaires on peut avancer le suivant :

- Rares sont les agriculteurs qui enregistrent leur usages phytosanitaires parce qu'ils ne peuvent pas le faire (manque de temps ou d'enseignement) ou qu'ils ne veulent pas le faire (ne voient pas l'intérêt) ; le but pour ceux qui le font, et encore avec d'autres usages surtout de fertilisation c'est pour les charges pour pouvoir payer le vendeur de PPS ou l'exploitant si cet agriculteur est le propriétaire ;
- Les serriculteurs enquêtés au niveau des Ziban (Est et Ouest) utilisent d'importantes quantités en fumier (donc MO) qui va du double au quadruple de celles recommandées ces quantités influenceront l'adsorption des pesticides ;
- Pas moins de 100 spécialités commerciales fabriquée à base de 60 SA appartenant à 28 familles chimiques. 44,76% des déclarations d'utilisations sont des fongicides, 40% des insecticides et 15,23% des acaricides. L'usage des herbicides est rare et discret. Lorsque on conjugue les données issues des différentes parties enquêtés (agriculteurs, vendeurs) et des différents moyens d'investigation (enquêtes, observations) ces nombres augmentent à 71 SA (dont une SA herbicide) et à 34 familles chimiques (Tab.29) ;
- En terme de nombre des déclarations, les 10 principales familles chimiques sont : les **Avermectines** (abamectine, emamectine-benzoate), les **Néonicotinoïdes** (acétamipride, imidaclopride), les **Triazoles** (penconazole, triadimenol, difénoconazole, hexaconazole), les **Carbamates** (propamocarbe), les **Pyréthroïdes de synthèse** (cypermethrine, lambda-cyhalothrine), les **Organophosphorés** (chlorpyrifos-éthyl, les organochlorés (endosulfan, dicofol), les **Oxadiazines** (indoxacarbe), les benzimidazoles (methylthiophanate, carbendazim) et les **Strobilurines** (azoxystrobine) ;
- Les agriculteurs restent la meilleur source pour renseigner les usages et pratiques serricoles et phytosanitaires et pour la détections des changements et mutations de ces dernières ;

- Le grainetier ou vendeur d'intrants chimique (engrais et PPS), joue un rôle clé auprès des agriculteurs : circulation de l'information, des lois, de la sensibilisation, etc ;
- En termes de nombre moyen de produits phytosanitaire utilisés par cycle et pour chaque usage nous avons 3, 2 et 1 respectivement, pour l'usage insecticide, fongicide et acaricide ; La fréquence moyenne des traitements correspondants est de 10, 5 et 4 respectivement. Aussi, les serriculteurs Ziban-Est utilisent plus de fongicides que leurs homologues du Ziban-Ouest.
- Les calendriers des traitements phytosanitaires des bioagresseurs montrent la circulation des PPS durant 10 à 11 mois/année (d'Août à Juin) ;
- La quantité moyenne d'ingrédients actifs employée par hectare sous système serricole calculée principalement pour la culture de tomate au Ziban à partir des données d'enquête auprès d'agriculteurs et pour deux cycles/année est de 1,65 kg/ha/an inférieure à celle de la majorité des pays méditerranéens pratiquant la plasticulture;
- L'Acéphate (organochloré) déclaré en début d'enquête par les vendeurs, n'a pas été renseignée par tous les agriculteurs. Il s'agit d'une SA interdite et les agriculteurs se tiennent compte de cette interdiction en contraste avec l'endosulfan, organochloré, également interdit fin 2013 et dont l'usage a été renseigné sans gêne.
- Les agriculteurs de la classe 1 de la CAH représentent majoritairement la localité de MZ semblent utilisées plus de SA et avec une plus importante fréquence/cycle. Néant moins c'est ceux qui protègent le plus le sol par le paillage plastique ;
- Les enquêtés des communes de Ain Naga (Zab Est) et celles d'El Ghrous (Zab Ouest) semblent les plus proches des déclarations moyennes concernant le nombre de SA et de traitement, ces communes sont les premières en terme d'importance en superficies serricole ;
- Les spécialités phytosanitaires les plus utilisées semblent être d'origines « sûres » dans la mesure où se sont des produits affichés comme de grandes firmes internationales de l'agrochimie et 85% à > 90 % des SA mentionnées par les agriculteurs enquêtés sont règlementées et approuvées au niveau européen et algérien respectivement ;
- Il ya un absence/manque de contrôle et de réglage du matériel de pulvérisation des PPS ainsi qu'un manque en moyen d'autoprotection de la part des manipulateurs ;
- Il ya un réel problème de gestion des emballages vides, des restes de cuves et des eaux de rinçage des réservoirs des mélanges ce qui permet d'avancer déjà l'existence d'une contamination ponctuelle des sols; l'enterrement des films plastiques de recouvrement afin de les stocké peut contribuer à cette contamination ;

- Toutes les pratiques agricoles en milieux serricoles pourraient influencer sur le devenir des pesticides dans l'environnement: travail du sol, fertilisation (surtout organique), irrigation mais surtout les usages (quantité, type : familles chimiques, formulation) et les pratiques phytosanitaires (fréquence, mélange, application ...). D'un autre côté, la serre elle-même peut constituer une source de pollution à travers par exemple le film plastique de recouvrement retenant (suite aux pulvérisations) et relarguant les pesticides suite à des précipitations, à des lavages et même aux gouttelettes d'eau dues à l'évapotranspiration ;
- Les végétaux sous serre en tant que la première cible des traitements est une matrice prioritaire à étudier et à contrôler par rapport aux LMR si les agriculteurs veulent cibler les marchés internationaux ;
- La matrice air à l'intérieur des serres est une matrice très importante à étudier surtout face à la non maîtrise de l'aération sous serres froides ;
- Une étude conduite exclusivement sur les usages et pratiques phytosanitaires en grandes serres (≥ 1 ha) pourrait apporter plus d'informations sur ces derniers.

Tableau 29 : Les SA signalées dans le paysage agricole (serricole) des Ziban par nos différentes enquêtes et observations.

Familles chimiques	Substances actives	Usage (I, F, A, H)	Parties enquêtées et périodes (campagnes) d'enquête				
			Vendeur (s)			Agriculteurs	Enquêteurs
			N=1 (2011/2012)	N=5 (2012/2013)	N=6 (2013/2014)	N=63 (2013/2014)	Auto-(observation) (2013/015)
Acétamide (1)	Cymoxanil	F		+	+	+	+
Anthranilique diamide (1)	Chlorantraniliprole	I		+	+	+	
Anilinopyrimidine (1)	Cyprodinil	F				+	
Avermectine (2)	Abamectine	A, I	+	+	+	+	+
	Emamectin benzoate	I	+	+	+	+	
Benzamide (1)	Zoxamide	F				+	
Benzimidazole (2)	Carbendazime	F		+	+	+	
	Methylthiophanate	F		+	+	+	
Benzilate (1)	Bromopropylate	A		+			
Carbamate (7)	Methomyl	I	+	+	+	+	+
	Oxamyl	I				+	
	Mancozeb	F		+	+	+	+
	Maneb	F		+	+	+	
	PropamocarbHCl	F		+	+	+	+
	Propineb	F		+	+	+	+
	Zinèbe	F				+	
Carboxamide (1)	Hexythiazox	A				+	
Chloronitrile (1)	Chlorothalonil	F		+	+	+	+
Diacylhydrazine (1)	Tebufozide	I				+	
Dicarboximide (1)	Iprodione	F				+	
Dinitrophénol (1)	Dinocap	F				+	
Formamidine (1)	Amitraz	A	+	+	+	+	
Néonicotinoïdes (4)	Acétamipride	I	+	+	+	+	+
	Imidaclopride	I	+	+	+	+	+
	Thiacloprid	I				+	
	Thiamethoxam	I		+	+	+	
Organochlorés (2)	Endosulfan	I	+	+	+	+	
	Dicofol	A		+	+	+	+
Organophosphorés (6)	Acéphate	I		+			
	Chlorpyrifos-éthyl	I		+	+	+	+
	Chlorpyrifos-méthyl	I		+	+		
	Diazinon	I		+	+	+	+
	Ethoprophos	I				+	
	Fosetyl-aluminium	F		+	+	+	+
Oxadiazine (1)	Indoxacarb	I	+	+	+	+	+
Oxazole (1)	Hymexazol	F		+	+	+	
Phenylamide (2)	Metalaxyl	F		+	+	+	
	Métalaxyl-M	F		+	+	+	+

Phenylpyrrole (1)	Fludioxonil	F				+	
Phthalimide (1)	Folpel/ Folpet	F		+	+		+
Pyrazolium (1)	Fenpyroximate	A		+	+		
Pyréthroïdes de synthèse (7)	Acrinathrine	A				+	
	Betacypermethrine	I					+
	Bifenthrine	I		+	+		+
	Cypermethrine	I		+	+	+	+
	Deltamethrine	I				+	
	Lambda cyhalothrine	I		+	+	+	+
	Tefluthrine	I				+	
Pyrimidine (1)	Fenarimol	F		+			
Quinoline (1)	Quinozol/ Quinosol	F				+	+
Spinosyns (1)	Spinosad	I				+	
Strobilurine (4)	Azoxystrobin	F	+	+	+	+	
	Kresoxim-méthyl	F				+	
	Pyraclostrobin	F				+	
	Trifloxystrobin	F				+	
Sulphite ester (1)	Propargite	A		+	+		+
Tetrazine (1)	Clofentezine	A				+	
Triazole (8)	Bromuconazole	F				+	
	Difenoconazole	F		+	+	+	
	Epoxiconazole	F				+	
	Hexaconazole	F	+	+	+	+	+
	Myclobutanil	F				+	
	Penconazole	F	+	+	+	+	+
	Tebuconazole	F				+	
	Triadimérol	F	+	+	+	+	+
Non classées (2)	Buprofezin	I		+	+		+
	Thiocyclam-hydrogen-oxalate	I		+	+	+	+
Composés inorganiques (3)	Cuivre	F				+	
	Oxychlorure de cuivre	F				+	+
	Soufre	F				+	+
Phosphonoglycine	Glyphosate	H					+
Total : 34	71	F : 36 (50,7%) I : 25 (35,21%) A : 9 (12,67%) H : 1 (1,4%)	12	42	39	60	29

Chapitre 2

Caractérisation des sols et des eaux

Introduction

Une majorité des zones irriguées maghrébines et moyennes orientales sont affectées par une salinité des eaux et des sols importante que ce soit en domaine côtier ou en domaine continental (oasis, plaines intérieures) (Grünberger, 2015).

Dans le présent chapitre, des analyses physico-chimiques de six échantillons de sol et de huit échantillons d'eau sont présentés. Les sols sont prélevés sur six sites ou exploitations à vocation serricole situés à M'Ziraa(MZ), Ain Naga(AN), Sidi Okba(SO), El Ghrous(EG), Doucen(D) et Lioua(L). Les eaux prélevées correspondent pour 6 d'entre elles à des eaux de forage destinées à l'irrigation de ces mêmes exploitations, pour une, à un puits anciennement irrigant des serres et enfin à une eau superficielle d'Oued traversant une zone serricole (Fig.20).

La comparaison aux normes et le calcul de certains indices (surout pour l'eau) à partir des résultats de ces analyses va nous permettre de caractériser les sols et les eaux des différents sites d'étude et d'en estimer la vulnérabilité à la contamination.

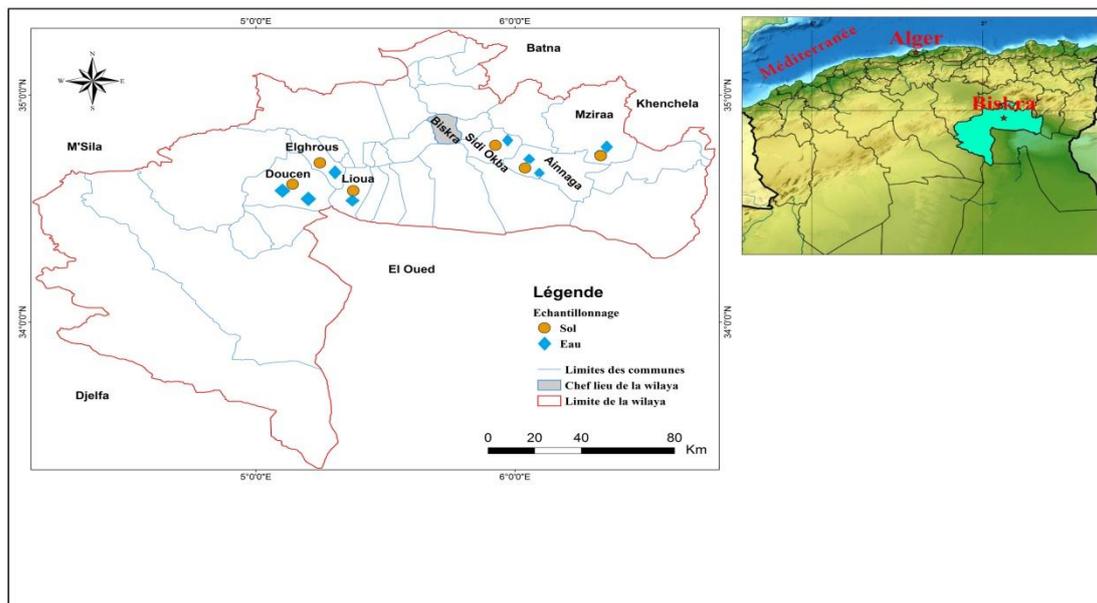


Figure 20: Localisation des points d'échantillonnage sol et eau.

2.3 Caractérisation des sols agricoles sous serre

La caractérisation des sols est une étape importante car les propriétés physico-chimiques de ces derniers interfèrent et jouent un rôle important sur le devenir et la persistance des pesticides dans l'environnement.

2.3.1 Matériels et méthodes

Pour la caractérisation des sols, seuls six exploitations à vocation serricole enquêtées (une par commune) ont été retenues. Les échantillons prélevés au mois d'avril 2014 sont tirés au sort parmi la totalité des exploitations. La période correspond à la fin du cycle cultural (pour la culture de tomate). Les analyses physico-chimiques ont été réalisées dans les laboratoires du CRSTRA.

2.3.1.1 Prélèvement et conservation des échantillons de sol

Les prélèvements de sol furent pris au sein des 6 exploitations (Fig.21) su-citées : sous serre-tunnel dans 5 d'entre-elles et à partir d'une serre canarienne d'1.5 ha de superficie dans l'exploitation située à M'Ziraa. Toutes les serres étaient cultivées par de la tomate

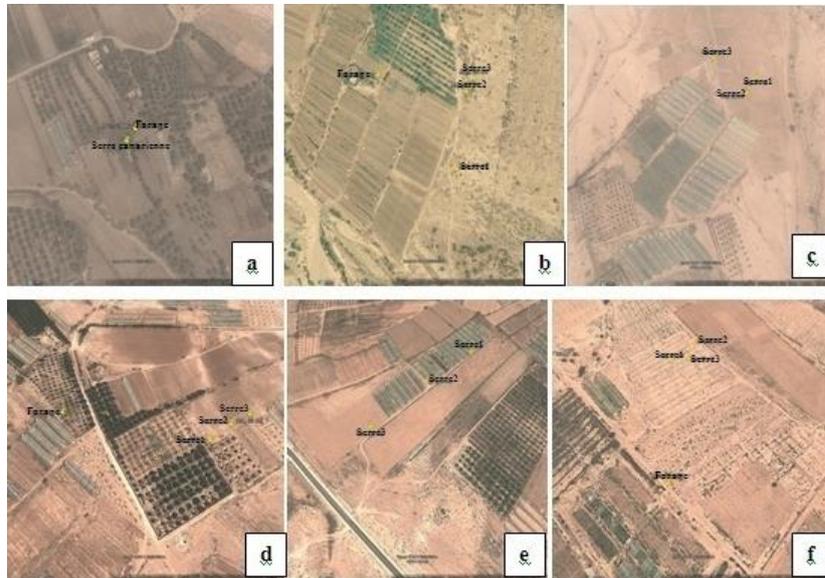


Figure 21: Photos satellitaires (google earth) de localisation des serres échantillonnées situées sur le site de a)M'Ziraa, b) Ain Naga, c)Sidi Okba, d) El Ghrous, e)Doucen et f) Lioua.

Au sein d'une même serre, de terre sont prélevés sur plusieurs points, 15 en minimum pour établir un échnatillon composite représentatif de la profondeur que l'on regroupe dans un contenant de grande taille. Les premiers 0-5 cm sont échantillonnés à la cuillère (comme pour Kihampa et al., 2010, et Bellamine et al., 2012). L'échantillon 5-30 cm est prélevé à la tarière .Après homogénéisation, on dispose de 2 échantillons composites/serre, un pour chaque profondeur et un total de 6 échantillons composites par exploitation (2 profondeurs*3serres) à l'exception de la serre canarienne là où on a pris qu'un échantillon composite par profondeur (2 profondeurs*1serre) (Fig.22). Une quantité

de 1 à 2 Kg de terre est prise pour chaque échantillon dans des sacs en plastique doublés numérotés par rapport à la profondeur concernée et munis d'une étiquette. Ces échantillons sont transportés au laboratoire du siège central du CRSTRA où ils ont été séchés à la température ambiante de laboratoire (25 – 30° C) avant d'être affinés par un mortier suivi d'une séparation des éléments grossiers de la terre fine au moyen d'un tamis de 2 mm. Une partie de ce sol (pour toute profondeur) a été destinée aux analyses physico-chimiques et l'autre partie a été mise dans un congélateur à -18°C pour les analyses de pesticides. Tous les échantillons destinés aux analyses sont mis dans des petites boîtes en plastiques sur lesquelles on a reporté les numéros et les étiquettes des sacs.

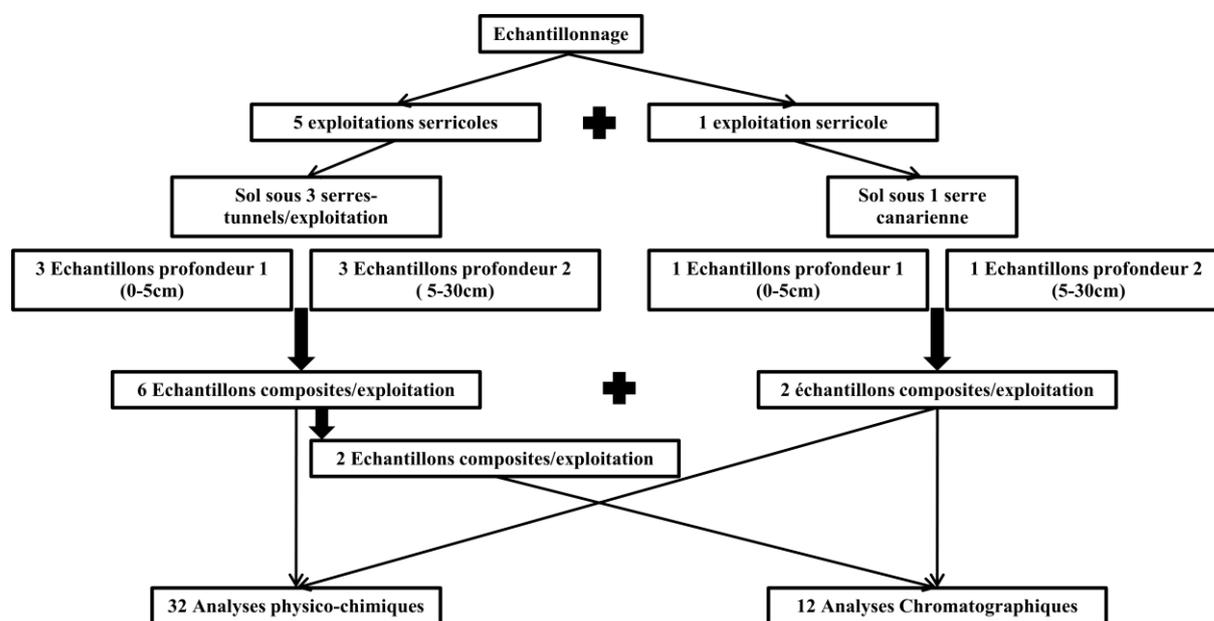


Figure 22 : Plan d'échantillonnage du sol.

De plus, une « Fiche d'échantillonnage-sol » (annexe 14) a été élaboré afin d'accompagner les prélèvements, elle renseigne certaines informations sur les serres (ex. Localisation), sur la culture (variété) et sur les intrants (engrais et phytosanitaires), apportés. Ces renseignements pouvant être utiles lors de la discussion de certains résultats.

2.3.1.2 Analyses physico-chimiques du sol

Plusieurs études sur la rétention des pesticides ont montré qu'elle est affectée par les propriétés physico-chimiques du sol telles que le pH, la quantité d'argiles, et de matière organique. Tous les paramètres physico-chimiques concernant les sols peuvent avoir une influence à différents degrés, seule ou en association, rapide ou lente sur la concentration, l'adsorption, la mobilité, la dégradation, la transformation...des pesticides.

Le pH-sol a été déterminé par la méthode potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre de marque Multi 3430 SET K. La Conductivité Electrique (CE) est mesurée par la méthode du rapport sol/eau : 2/5 à l'aide d'un conductimètre de marque Multi 3430 SET K. La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée par les méthodes AFNOR (1999). Le carbone organique a été dosé dans les sols par la méthode ANNE modifiée. L'analyse physique en cinq fractions granulométriques (argile, limons fins et grossiers, sables fins et grossiers) a été réalisée par la méthode de pipette Robinson. Le triangle de texture de l'USDA (United State Department of Agriculture) à l'aide du « Soil texture calculator »⁹⁶ a été utilisé pour la classification de la texture des sols. Le calcaire total a été mesuré par la Méthode volumétrique à l'aide du Calcimètre de Bernard. Le détail de toutes ces méthodes figurent dans l'ouvrage « Analyse chimique des sols » (Mathieu et al., 2003).

2.3.2 Résultats et discussion

2.3.2.1 Caractérisation Sol : analyses physico-chimiques

Sauf indication contraire, tous les résultats qui vont suivre sont des résultats moyens de trois répétitions d'analyses correspondant à trois échantillons de sol sous 3 serres et sur deux profondeurs sous tomate. Chaque 3 serres représente la même exploitation, sauf dans le cas du site de M'Ziraa où une grande serre canarienne a été visée par l'échantillonnage. Suivant la nature du sol (granulométrie, structure, teneur en matières organiques et en argile, teneur en eau...), des phénomènes de fixation de pesticides (adsorption) ont lieu. Le système racinaire et la microflore interviennent également dans ces phénomènes de fixation (Landreau, Mouvet, & Normand, 1999).

- **Analyses physiques, taux d'argile et de Matière organique**

La MO joue un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la qualité de l'eau (souterraine surtout) par sa forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments traces métalliques), ainsi une corrélation positive est observée pour la majorité des pesticides entre rétention et teneur en matières organiques des sols (Spark et Swift, 2002 ; Calvet et al., 2005 ; Ahmad et al., 2006 in Schrack et al., 2009). Helling (1971) rapporte dans son étude que la mobilité des composés non ioniques était inversement liée à l'adsorption de composés

⁹⁶ https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

semblables, à la capacité d'humidité au champ, à la matière organique et aux teneurs en argile et à la capacité d'échange cationique (CEC).

Les pH des six sols échantillonnés selon le référentiel pédologique (1992) in Baize (2000) (Annexe 15) étaient tous de type basique (>7.5) et bien qu'ils aient des valeurs très proches, la moins importante avait été enregistré à Doucen (7.79) et la plus importante à M'Ziraa (8.17). Le pH, influence aussi la rétention des pesticides (Laird et al., 1992 ; Munoz, 1992 ; Gilchrist et al., 1993 ; Calvet et al., 2005 in Schrack et al., 2009) et a mobilité des composés acides était directement corrélée au pH du sol (Helling, 1971). Néanmoins, dans leur étude sur les usages des terres et leurs effets sur la sorption des pesticides et leur métabolites dans les sols sablonneux en Australie, Oliver et al. (2003b) rapportaient que parce que tous les composés utilisés étaient non ionique ils s'attendaient à ce que la sorption soit indépendante du pH. Le pH joue aussi un rôle dans la dégradation des pesticides dans le sol, Houot et al. (2000) rapportent que le pH semblait être la caractéristique la plus importante du sol (échantillonnés à Grignon (France) et en Ontario (Canada)) lié à la dégradation de l'atrazine (herbicide), avec une importante minéralisation dans les sols dont le pH était supérieur à 6,5.

La teneur en MO était extrêmement faible (inférieure à 1%) dans les sites situés au Ziban-*Est* et très faible à faible (supérieure à 1%) dans les sites situés au Ziban-*Ouest*, c'est le sol du site d'Ain Naga qui détient le moins important pourcentage en MO (0.76%) et c'est celui de Lioua qui dédie le pourcentage le plus important (1.73%). Cependant le taux de CO est inférieur à 1% dans tous les sols.

Les sols à Sidi Okba, Doucen et Lioua ont tous une texture de type «Loam limoneux », ceux de M'Ziraa, Ain Naga et El Ghrous ont une texture « argilo-limoneuse », « loam » et «Loam-sableux » respectivement (Annexe16). Les taux d'argile le plus important est de loin celui attribué au sol de MZ ; le taux d'argile le plus faible était celui du sol d'El Ghrous ou les argiles granulométriques sont absentes. Plus le sol est riche en argiles, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est réputée grande. Ce paramètre joue un rôle important dans la détermination des zones polluées (Sedrati, 2011). Il faut signaler que les sols des régions arides sont fréquemment pauvres en Argiles.

Mawussi (2008) indique que dans un contexte d'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo, la présence de l'illite, de la smectite et les taux de carbone organique prédisposent ces sols à une bonne adsorption des pesticides chimiques. Boumaraf (2013) fait référence à la présence de minéraux tels que la kaolinite ou les

smectites, dans les croûtes et les encroûtements gypseux dans la région des Ziban. Cependant comme le montre nos résultats, les taux de CO sont faibles.

La CEC représente la somme des cations échangeables du complexe adsorbant (Gagnard et al., 1988), elle indique la réserve totale du sol en ces éléments. La CEC était moyenne au sol de Ain Naga, élevée à M'Ziraa, Sidi Okba, El-Ghrous et Lioua à très élevée au site de Doucen. Selon la relation inversement proportionnelle entre mobilité de certains pesticides non ioniques et la CEC, c'est au site de Ain Naga dont la CEC est la plus faible (Tab.30) que la mobilité de ces derniers serait la plus importante.

La conductivité électrique (CE) définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol. Un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique de l'extrait saturé est supérieure à 4 mS/cm (4 ds / m) à 25°C (Durand, 1983) Cette borne correspond à la limite où la croissance de la plupart des végétaux non halophytes est affectée. Selon cette appréciation, seule le sol de Doucen est salé, néanmoins, la CE des sols d'El Ghrous et de Lioua et celui d'Ain Naga approchent aussi cette valeur. Les sols de M'Ziraa et de Sidi Okba sont les moins salés. Les pesticides présentent quelques points communs avec les ions des sels car leur transfert dans les écosystèmes s'opère fréquemment par voie aqueuse : soit en solutés, soit associées à la matière organique dissoute, soit adsorbées sur des particules en mouvement dans les flux d'eau (Grünberger, 2015).

Tableau 30: Quelques propriétés physico-chimiques des sols des sites d'étude (0-30cm).

Localités	MZ-sol	AN-sol	SO-sol	EG-sol	D-sol	L-sol
Paramètres du sol étudiés						
Argiles (%)	41,0	19,5	12,2	0,0	14,1	13,3
Limons (%)	41,8	38,8	52,7	37,3	67,1	82,0
Sables (%)	17,2	41,7	35,1	62,7	18,8	4,7
Texture*	Argile limoneuse	Loam	Loam limoneux	Loam-sableux	Loam limoneux	Loam limoneux
MO (%)	0,99	0,76	0,89	1,08	1,49	1,73
	Extrêmement faible			Très faible		Faible
CO (%)	0,56	0,43	0,51	0,61	0,84	0,98
CEC ^a (méq/100g de sol)	36,85	24,19	29,82	32,63	41,07	29,82
	Elevée	Moyenne	Elevée	Elevée	Très élevée	Elevée
pH _{sol}	8,17	8,01	8,01	7,86	7,79	8,03
	Basique	Basique	Basique	Basique	Basique	Basique
CE (mS/cm25°C)	1,08	3,4	1,91	3,58	4,73	3,73

^a Capacité d'Echange Cationique en méq/100g ; méq : milli équivalent, *Selon Glossaire des termes de la science des sols((Ministère de l'agriculture du Canada., 1976)

- **Calcaire Total**

Selon Djili (2000), le profil calcaire en Algérie est fonction de la pluviométrie dans les zones arides ($P < 300$ mm) : l'accumulation de calcaire semble être homogène dans tout le profil, mais avec un pourcentage de calcaire légèrement plus élevé dans les horizons de Sub- surface ;D'après les appréciations proposées par le Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA) in Baize (2000) (annexe 15), les horizons des sols du Ziban Est échantillonnés dans cette étude sont fortement calcaires et ceux du Ziban Ouest sont modérément calcaires.

Tableau 31: Taux du calcaire total (%) des sols étudiés (0-30cm).

Sites	Ziban Est			Ziban Ouest		
Sol	MZ-sol	AN-sol	SO-sol	EG-sol	D-sol	L-sol
Moyenne	31,23	32,73	25,26	9,38	14,38	12,87
Appréciations	Horizon fortement calcaire			Horizon modérément calcaire		

Nous remarquons que les % de calcaire total dans les sols échantillonnés dans les sites du *Ziban Est* sont plus importants que ceux du *Ziban Ouest* (Tab.31). Son importance/site vient dans cet ordre décroissant : Ain Naga>M'Ziraa>Sidi Okba>Doucen>Lioua>El Ghrous. Benmahdi (2008), en étudiant la rétention d'un herbicide (metribuzine) dans des sols agricoles algériens de texture limono_argileuse fine (Batna), limoneuse (Oran) et sablo-limoneux (Ghardaïa) qui étaient basiques avec un % élevé de calcaire montre que ces sols ont une faible capacité d'adsorption ce qui donne lieu, selon l'auteur à un risque important de migration vers les nappes souterraines. Dans la même étude, les résultats ont montré également que les quantités de la métribuzine (Triazine) retenues dépendent des propriétés physico-chimiques et de la composition des sols étudiés. En effet, plus les sols contiennent de l'argile et de la matière organique (cas des sols de Batna et d'Oran), plus la métribuzine sera retenue.

2.4 Caractérisation et analyses physico-chimiques des eaux

Peu de données sont disponibles sur les concentrations de solutés dans les eaux souterraines en raison des pratiques agricoles intensives, en particulier pour les terres en conditions semi-arides et arides.

2.4.1 Matériels et méthodes

2.2.1.1 Choix des points de prélèvement

D'après l'ANAT, (2003), toutes les eaux des forages situés à MZ, AN, SO, EG, D, L, appartiennent à la nappe des sables (Mio-pliocène) à l'exception du puits situé à Doucen (11m de profondeur) dont l'eau appartient à la nappe phréatique (Quaternaire). Les profondeurs de ces ouvrages sont de 250, 150, 100, 110, 60 et 100m respectivement et les prélèvements correspondent aux exploitations dont le sol était échantillonné. Une eau superficielle d'un Oued éphémère a été également ciblée. Concernant l'occupation des terres, les cultures sous serres étaient omniprésentes avec une prédominance des solanacées (Tomate, piment, poivron), aussi les cultures de pleins champs (céréales, cultures maraîchères), sans oublier le palmier dattier.

2.2.1.4 Echantillonnage

Dans le but d'une recherche de contamination par les pesticides des eaux d'irrigation dans les sites d'étude (correspondant à celles des enquêtes), nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage durant le mois de janvier 2014 après 5 mois de culture sous serres où plusieurs traitements pesticides ont été réalisés. Mais avant l'analyse chromatographique, des analyses physico-chimiques ont été réalisées afin de caractériser les eaux prélevées des différents sites.

Donc, au total, 7 échantillons des eaux souterraines et 1 échantillon d'eau superficielle (Fig.20) ont été prélevés : le 13 à AN (Mansouria), le 15 à D (Douice), le 20 à SO (Garta), le 26 à MZ (Bouatrous) et à AN : Oued El Biraz (Mansouria), le 27 à EG (Draa Elamri) et enfin le 30 à L (Mermoutha). Le second prélèvement de AN est dû à l'opportunité de la présence d'eau dans un Oued intermittent traversant des zones serricoles situées à AN et SO. Les échantillons des eaux souterraines ont été prélevés dans 6 forages et un puits traditionnel. L'eau superficielle provient d'une eau stagnante dans un Oued sans écoulement pérenne, mais qui coule lors des événements exceptionnels (pluies torrentielles) et/ou du fait de fuites du barrage de Foum El Guerza. Le prélèvement est immédiat si l'agriculteur est en train de pomper, dans le cas contraire, on échantillonne 15 mn après le démarrage de la pompe. L'échantillonnage se fait dans des bouteilles en verre ambré (1L) (en double) après rinçage à l'eau du prélèvement. Le transport se fait dans une glacière jusqu'au laboratoire du CRSTRA où la moitié subissaient des analyses chimiques tandis que les doubles étaient stockés au

congélateur à -18°C pour les analyses de résidus de pesticides. L'analyse physique s'est faite sur terrain.

Comme pour le sol, une « Fiche d'échantillonnage-eau » (annexe17) a été élaborée afin de renseigner et d'accompagner les échantillons d'eau comportant des données tel : le lieu-dit, la date et l'heure du prélèvement, les coordonnées géographiques du forage/puit ainsi que sa profondeur mais également les paramètres physiques (CE, pH, OD et T°) analysés in-situ grâce à la valise multi-paramètres. D'autres observations y sont notées telle la distance qui sépare les forages des serres, les autres usages des forages car une eau à usage multiple (irrigation, AEP) devrait bénéficier d'un intérêt particulier.

2.2.1.5 Analyses physico-chimiques des eaux

- **Analyses physiques : pH, T° , CE, OD**

Grâce à une « valise multi-paramètres » de marque Multi 3430 SET K. nous avons pu mesurer des paramètres physiques in-situ (pH, CE, OD, T°). Grâce à la valise multi-paramètres quatre paramètres ont été analysés dans les eaux prélevées in-situ, il s'agit du potentiel hydrogène, de la température de l'eau, de la conductivité électrique et de l'oxygène dissous.

- **Analyses chimiques**

Le but de ces analyses était de nous permettre une appréciation de la qualité de ces eaux confronté à des normes internationales (OMS, FAO) et leur adéquation à différents usages (AEP, irrigation). Huit ions majeurs ont été analysés, Il s'agit pour les cations : le calcium (Ca^{2+}) par méthode titrimétrique à l'EDTA, le magnésium (Mg^{2+}) déduit de la dureté totale (TH) (obtenue par complexométrie à l'EDTA) moins l'élément calcium. Le sodium (Na^{+}) et le potassium (K^{+}) sont analysés par le spectromètre à flamme. Pour les anions : le bicarbonate (HCO_3^{-}) est obtenu par titration à l'acide sulfurique, les sulfates (SO_4^{2-}) et les nitrates (NO_3^{-}) par spectrophotométrie UV-VIS, les chlorures (Cl^{-}) par la méthode de MOHR (Argentométrie). Les méthodes analytiques de dosage détaillées de ces différents éléments sont décrites en annexe18.

2.2.2. Résultats et discussion

2.2.2.5 Analyses physiques (Analyse in situ)

Les résultats antérieurs et ceux qui vont suivre appuient la présence de pesticides dans les eaux souterraines, expliquant que les facteurs affectant la contamination des eaux souterraines

par les pesticides impliquent la quantité annuelle de recharge, le type de sol, la profondeur de l'aquifère par rapport à la surface, la contamination des nitrates et le pH du sol (Etteieb et al., 2014).

Les profondeurs des différents forages renseignent que toutes les eaux appartiennent à la nappe du Mio-pliocène, tandis que l'eau de puits dont la profondeur est très faible, appartient à la nappe phréatique plus proche du sol et donc aux impacts anthropiques. Le paramètre profondeur de l'eau est un paramètre très important dans l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère car le transport des polluants et leurs évolution dans le sol et le sous sol sont déterminés en connaissant en premier lieu la profondeur de la nappe (Sedrati, 2011).

Le tableau 32 montre que les températures mesurées sur les eaux de la nappe du Mio-pliocène présentent des valeurs moyennement élevées, vu la période d'échantillonnage (mois de janvier), mais assez proches. Ces températures varient entre 20.3°C et 24.8°C. L'eau de la nappe du quaternaire présente une température plus faible (19.9°C), la température, de l'eau superficielle (20°C) à AN_{Od}, est plus élevée que celle des nappes sous-jacentes comme souligné Bouchahm et Achour (2008).

Selon le tableau 32, le pH de tous les échantillons d'eau est inférieur aux limites maximales admissibles établies par l'OMS. Cependant, la CE⁹⁷ de tous les points d'eau excède la limite maximale admissible fixée à 1400 µS/cm à 25°C. La mesure varie d'un minimum de 1830 µS/cm à 25°C au forage situé au site de MZ à un maximum de 17890 µS/cm à 25°C au puits situé au site de Doucen (presque 10 fois plus importante). Le classement des points d'eau selon leurs CE est par ordre croissant : MZ_{Fg}<SO_{Fg}<AN_{Od}< L_{Fg}< AN_{Fg}< EG_{Fg}< D_{Fg}<D_{pt} ; de façon générale on peut dire que les eaux des forages situés au Ziban *Est* sont moins minéralisées que celles du Ziban *Ouest*. La valeur de la CE est inversement proportionnelle à la profondeur des ouvrages. Aussi, les sites où le sol présente une importante teneur en sable sont donc les plus perméables et sont ceux qui enregistrent des valeurs de CE_{eau} importantes (ex.El Ghrous). Notons que la profondeur influe sur la contamination par les pesticides, en effet Shomar et al. (2006) ont trouvé dans la bande de Gaza que plus la nappe phréatique était profonde, moins la présence de pesticides était détectable.

⁹⁷ Conductivité électrique.

Tableau 32 : Résultats des analyses physiques des eaux prélevées in situ.

Sites d'échantillonnage	Normes OMS		Ziban Est				Ziban Ouest			
	LS ¹	LM ²	MZ-eau	AN-eau		SO-eau	EG-eau	D-eau		L-eau
Date de prélèvement (Année 2014)			26-01	13-01	26-01	20-01	27-01	15-01		30-01
Heure de prélèvement			10h30	10h25	12h40	12h55	11h30	12h55	11h05	12h00
Eau de			Fg ³	Fg	Od ⁴	Fg	Fg	Fg	Pt ⁵	Fg
Profondeur (m)			250	150	0	100	110	60	11	100
pH	7 – 8,5	9,2	7,50	7,22	8,04	7,76	7,30	7,15	7,10	7,19
T (°C)	-	-	24,8	24,7	20,0	20,5	20,3	21,6	19,9	21,1
CE (µS/cm) à 25°C	500	1400	1830	4290	2080	2020	5520	6080	17890	4280
OD (mg/l)	-	-	6,12	3,14	10,55	8,59	8,30	8,40	5,80	8,08

¹Limites souhaitables, ²Limites maximales admissibles, ³Forage, ⁴Oued, ⁵Puits

Burow et al. (1998) ont trouvé dans leur étude sur les nitrates et les pesticides dans les eaux souterraines dans la vallée orientale de San Joaquin, en Californie (Etat-Unis d'Amérique) qu'à l'instar des concentrations de nitrate, l'occurrence des pesticides a été corrélée positivement aux concentrations d'oxygène dissous (OD), indiquant que les zones où l'eau présente des concentrations élevées en oxygène dissous sont vulnérables à la contamination par les nitrates et les pesticides. De même, dans l'étude de Kolpin et al. (2000) sur les concentrations minimales d'herbicides dans les eaux souterraines et leurs produits de dégradation dans l'Iowa (USA), les fréquences de détection et les concentrations d'herbicides étaient significativement liées à l'oxygène dissous et à la profondeur des puits. Ces indicateurs des eaux souterraines plus jeunes correspondaient à des détections plus fréquentes et à des concentrations plus élevées de composés herbicides. Les mêmes auteurs ont utilisé l'OD et la profondeur pour séparer les puits échantillonnés en classes générales de vulnérabilité (Tab.33) qu'on a utilisé empiriquement pour classer nos propres eaux souterraines.

Seule l'eau de puit présentait un haut risque de pollution, les autres eaux souterraines présentaient quand même un risque intermédiaire de pollution.

Tableau 33 : Classes de vulnérabilité à la pollution par les herbicides selon Kolpin et al. (2000).

Classe de vulnérabilité	Profondeur puits/nappe (m)	OD (mg/l)	Echantillons
Faible	>50	<0,5	-
Intermédiaire	>50	≥0,5	MZ, AN, SO, EG, D, L
	≤50	<0,5	-
Haute	≤50	≥0,5	D _{pt}

2.2.2.6 Analyses chimiques « eau » (au laboratoire)

Les eaux naturelles, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...). D'autres anions et cations d'origine anthropique (issus de la pollution des eaux par les rejets de différentes formes) sont également parfois (trop) présents dans les eaux naturelles. Les cas des nitrates, nitrites et phosphates sont bien connus, il s'agit ici de plusieurs ppm ou dizaines de ppm. Mais de très nombreux autres cations, dont les métaux lourds, peuvent être également présents, à l'échelle du ppb ou moins (le mercure, le cadmium, le cobalt, le chrome, etc.) (Rodier, Legube, Merlet, & Régis, 2009).

Aussi, plusieurs auteurs s'accordent sur le fait, qu'il y a une corrélation entre la salinité des eaux et la teneur en pesticide : dans leur étude sur la « Présence de pesticides dans les eaux souterraines et la couche arable dans la bande de Gaza », Shomar et al. (2006) font état d'une forte corrélation entre les teneurs en atrazine (6-20µg/l) et les salinités des puits (Cl moyen de 1200 mg/l). Etteieb et al. (2014) avaient trouvé à Korba (Tunisie) dans un contexte méditerranéen à environnement aride à semi-aride avec une réutilisation des eaux usées que la conductivité électrique, les concentrations de nitrate, de chlorure et de SAR étaient élevés dans les eaux souterraines. D'autre part, que ces eaux souterraines étaient contaminées par des pesticides.

- **Le calcium**

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (Rodier et al., 2009). Les teneurs en calcium des eaux contrôlées variaient de 116 mg/l (SO) à 442 mg/l (D_{pt}) (Tab.34). Seuls les points étudiés côté Ziban Ouest et l'eau de l'Oued côté Est avaient des concentrations supérieures à la valeur maximale admissible qui est de 200 mg/l. Les teneurs élevées en calcium pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques tels que le gypse.

- **Le magnésium**

La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates (Bermond et Perrdon, 1979). Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium variaient entre 36 mg/l (MZ) et 951,6 mg/l (D_{pt}) (Tab.34), seules les concentrations à AN_{fg}, EG et D_{fg} et D_{pt} dépassaient la norme maximale admissible de 150 mg/l. La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

- **Le sodium**

Le sodium est un élément dit conservatif car une fois en solution, aucune réaction ne permet de l'extraire de l'eau souterraine. Les précipitations apportent une quantité de sodium minime dans l'eau souterraine, les teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage de sels et des engrais, ou de la percolation à travers des terrains salés ou de l'infiltration d'eaux saumâtres ou bien de la concentration par évaporation (Bermond et Perrdon, 1979 ., Rodier, 2009 ., Nouayti, 2015). Dans les eaux souterraines non polluées et sans contact avec des évaporites, la teneur en sodium se situe entre 1 et 20 mg/l (Matthess, 1994 in Nouayti et al., 2015). L'analyse des données a montré que les teneurs moyennes en sodium dans les eaux des points étudiés variaient entre des minimums de 55,11 mg/l (AN_{Od}) et 75,17 mg/l (SO) à 1932,18 mg/l (D_{pt}) (Tab.34). Les points d'eau situés au Ziban Ouest et un point d'eau situé à l'Est (AN_{fg}) dépassaient les normes de potabilités de 200 mg/l établit par l'OMS.

- **Le potassium**

Le potassium se rencontre sous forme de chlorures doubles dans de nombreux minéraux tels que la corrollite et la sylvinite. Le potassium est un élément indispensable à la vie et notamment à la croissance des végétaux. En agriculture, il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium (Pesson, 1979 in Nouyti, 2015). Sa concentration dans les points d'eau analysés variait entre 0,25 mg/l (SO) et 24,33 mg/l (D_{Pt}) (cette dernière valeur 100 fois plus importante que la valeur minimum) (Tab.34). Les concentrations en potassium dépassaient la norme internationale de potabilité (12 mg/l) aux points d'eau situés à EG, D_{Fg} et D_{Pt}. Les concentrations en élément potassium sont les moins importantes enregistrées parmi tous les éléments chimiques analysés.

Tableau 34 : Concentration des cations et des anions des eaux (en mg/l).

Sites d'échantillonnage		Normes* OMS (1994,2004)		Ziban Est			Ziban Ouest				
Eléments		Normes* OMS (1994,2004)		MZ-eau	AN-eau		SO-eau	EG-eau	D-eau		L-eau
		LMS ¹	LMA ²	Fg	Fg	Od	Fg	Fg	Fg	Pt	Fg
Cations	Ca ²⁺	75	200	120	196	368	116	372	320	442	228
	Mg ²⁺	50	150	36	170	82	149	151,2	264	952	109
	Na ⁺	-	200	159	413	55	75	307	477	1932	302
	K ⁺	-	12,00	1,29	5,48	9,67	0,25	12,81	20,67	24,33	11,24
Anions	HCO ₃ ⁻	300		506	567	335	500	372	439	1013	366
	SO ₄ ²⁻	200	400	19	418	737	190	985	1084	2545	695
	Cl ⁻	200	600	284	595	266	222	745	684	2627	435
	NO ₃ ⁻	-	50,00	3,58	23,52	9,64	4,77	86,55	80,11	57,42	50,99
		Normes* OMS (1984)									
TDS ³ (mg/l)		500	1500	1309	2388	1862	1257	3032	3369	9592	2197
TH ⁴ (meq/l)		100,0	500,0	9,0	24,0	25,2	18,2	31,2	38,0	101,4	20,5
TH (°F)		500	2500	45	120	126	91	156	190	507	102

*Normes OMS guides pour l'eau potable, ¹Limites maximales souhaitables, ²limites maximales admissibles, ³ Solides dissous totaux, ⁴Total Hardness/dureté totale as CaCO₃ (meq/l), Fg : Forage, Od : Oued, Pt : Puits

- **Les bicarbonates**

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que la teneur en CO₂ de l'air et du sol dans le bassin d'alimentation. La teneur en bicarbonates des eaux souterraines non soumises aux influences anthropiques, varie entre 50 et 400 mg/l (Matthess, 1994 in Nouyti et al., 2015). Selon les mêmes auteurs, les teneurs en bicarbonates se situent autour de 302 mg/l dans le

domaine habituel des eaux souterraines non polluées. Les teneurs en bicarbonates des points étudiés sont tous supérieurs à cette valeur et variaient (pour l'eau souterraine) entre un minimum de 366 mg/l (L) et un maximum de 1012,6 mg/l (D_{pt}) (Tab.34).

- **Les sulfates**

Dans les conditions naturelles, les sulfates, représentent la forme de soufre dissous la plus ré pondue dans les eaux naturelles. Ils ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphérique.. L'oxydation des sulfures ainsi que la dégradation de la biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés et phytosanitaire fongique (Soufre, dans le cas présent). Du fait de leur solubilité élevée, l'eau souterraine en conditions normales peut en contenir jusqu'à 1500 mg/l (Deliste et Schmidt,1977 in Nouayti et al., 2015) Les valeurs des sulfates dans les eaux étudiées sont très variables, elles oscillaient entre un minimum de 190,34 (SO) mg/l à un maximum de 2544,82 mg/l (D_{pt}) (Tab.34). Au contact du gypse, l'eau se charge en sulfates de calcium et devient dure et impropre à la consommation. Aussi, on a constaté que les sulfates (736,55 mg/l) dominaient tous les autres éléments dans l'eau superficielle de l'Oued.

- **Les chlorures**

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles. Ils partagent avec le sodium auquel ils sont fréquemment liés le caractère conservatif et l'essentiel des sources. L'origine peut être naturelle (Bremond et Vuichard, 1973) au travers de la salinisation des terres et des aquifères, ou anthropique : Effet de l'activité humaine ; Industries extractives et dérivées (soudières, salines, mines potasse, industries pétrolières...). Parfois, les variations de concentrations de chlorures sont causées par l'augmentation du pompage liée à l'utilisation saisonnière de l'eau (Licciardello et al., 2011a). Les chlorures sont souvent utilisés comme un indice de pollution (Abdoulaye Demba et al., 2014 in Nouayti, 2015). Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables. Les teneurs en chlorures des échantillons d'eau analysés affichent des valeurs oscillant entre 221,87 mg/l(SO) et 2627 mg/l (D_{pt}) (Tab.34). Les valeurs en chlorures des points d'eau situés à L'Ouest des Ziban à l'exception du site de Lioua, sont tous supérieurs à la LMA. Aussi sur tous les autres sites, ces valeurs sont supérieures à la LMS.

- **Les nitrates**

Selon le même tableau, les niveaux de nitrates (NO_3^-) dans l'aquifère confiné sont situés entre 3,58 (MZ) et 86,55 mg/l (EG) (Tab.34). La moitié des forages testés présentent une concentration élevée supérieure à 50 mg/l, tous ces forages sont situés aux Sites Ouest (Fig.23). La contamination par les nitrates se produit principalement dans les zones où l'eau est peu profonde et / ou dans les zones où le sol est perméable. Les concentrations élevées de nitrates sont dues à l'application excessive et répétée d'engrais minéraux qui dépassent souvent ce qui est recommandé (constat attesté dans le chapitre 1 partieII). Bouchemal et Achour (2015) rapportent que ces concentrations peuvent refléter une pollution d'origine agricole. Ils rajoutent que les eaux les plus chargées en nitrates sont les eaux les plus superficielles de la nappe phréatique et celle du Miopliocène.

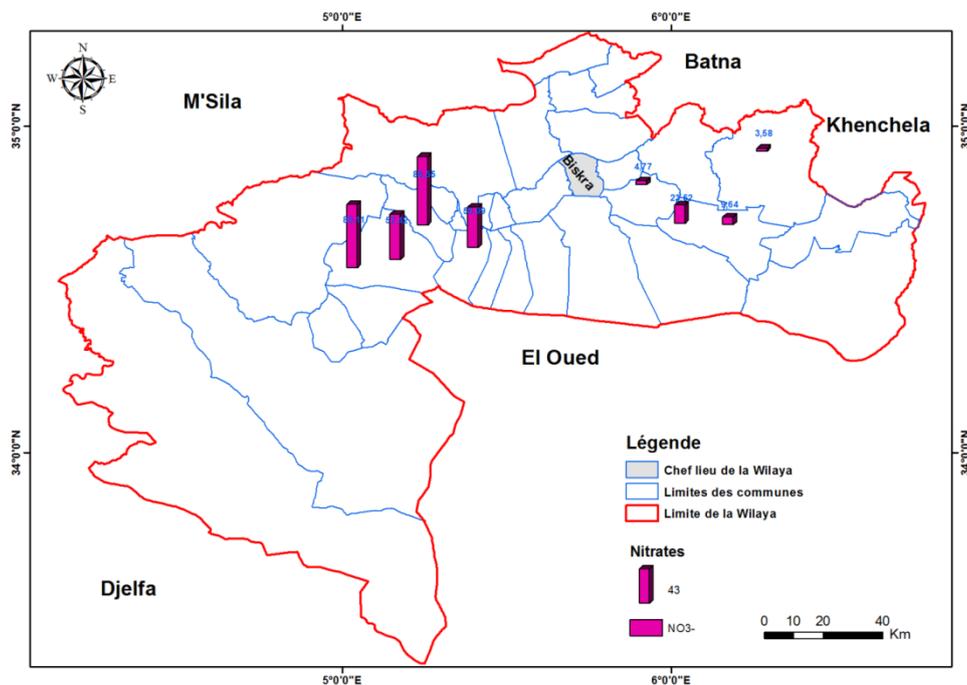


Figure 23 : Concentration en nitrates des différentes eaux échantillonnées.

- **La salinité**

Le tableau 34 montre que la TDS^{98} varie entre 1,2 g/l (SO) et presque 9.6 g/l (D_{pt}). Toutes les eaux à l'exception de celles de MZ et de SO (dont les TDS sont pourtant elles aussi $>$ à Limite Maximale Souhaitable) présentent des solides dissous totaux supérieurs à la limite maximale admissible établies par l'OMS de 1,5 g/l dont l'importance vient dans cette ordre décroissant : $\text{D}_{\text{pt}} > \text{D}_{\text{fg}} > \text{EG} > \text{AN}_{\text{fg}} > \text{L}$. Signalons que l'eau de l'Oued présente aussi un TDS élevé supérieur

⁹⁸Mesure des concentrations totales de sels dissous (cations+anions) en mg/l.

aux limites et supérieur aux TDS des eaux de SO et de MZ. Nous pensons que cette minéralisation est le résultat d'un contact eau-roches (lithologie) accentué par une infiltration dans le cas du puits de faible profondeur à Doucen et par les apports de surface (lessivage, ruissellement) dans le cas de l'Oued. Côte (2005), souligne que l'apport massif de sels par les oueds et les eaux de ruissellement augmente leur concentration. Les Oueds restent cependant, en moyenne, peu chargés en matière dissoutes, mais les teneurs augmentent considérablement lors des étiages⁹⁹ (1700 mg/l pour les seuls sulfates dans l'Oued El Abiod) au moment où les besoins en eau de boisson et d'irrigation sont maxima.

- **La dureté de l'eau**

La dureté de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est en particulier due aux ions calcium et magnésium. La dureté de l'eau se mesure par le "Titre Hydrotimétrique" (TH). Cette grandeur est fréquemment exprimée en degrés français (°F). 1°F équivaut à 10 mg/l de carbonate de calcium CaCO₃ et à 0.2 méq/l. Plus l'eau est riche en calcium et magnésium, plus elle est dure. Selon les valeurs au tableau précédent, et les valeurs de la dureté des eaux des différents sites, toutes sont très dures. Le minimum et le maximum de 45 et 507°F étant attribués à l'eau de MZ et de D_{pt} respectivement, cette dernière est 11 fois plus importante que la valeur minimum.

Tableau 35 : Plage de valeurs du titre hydrotimétrique.

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	Sup à 42
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

2.2.2.7 Faciès chimique des eaux

Le faciès chimique (Tab.36) des eaux détermine les éléments dominant dans l'eau analysée.

Tableau 36 : Faciès chimique des eaux échantillonnées.

Nappes	Echantillon	Anions	Cations	Faciès chimiques
Mio-pliocène	MZ _{Fg}	r HCO ₃ > r Cl > r SO ₄	r (Na+ k) > r Ca > r Mg	Bicarbonaté sodique
	AN _{Fg}	r Cl > r HCO ₃ > r SO ₄	r (Na+k) > r Mg > r Ca	Chloruré sodique
	SO _{Fg}	r HCO ₃ > r Cl > r SO ₄	r Mg > r Ca > r (Na+ k)	Bicarbonaté magnésienne
	EG _{Fg}	r Cl > r SO ₄ > r HCO ₃	r Ca > r (Na+k) > r Mg	Chloruré calcique
	D _{Fg}	r SO ₄ > r Cl > r HCO ₃	r Mg > r (Na+k) > r Ca	Sulfaté magnésienne
	L _{Fg}	r SO ₄ > r Cl > r HCO ₃	r (Na+k) > r Ca > r Mg	Sulfaté sodique
Phréatique	D _{Pt}	r Cl > r SO ₄ > r HCO ₃	r (Na+k) > r Mg > r Ca	Chloruré sodique
Superficielle	AN _{Od}	rSO ₄ > r Cl > r HCO ₃	r Ca > r Mg > r (Na+k)	Sulfaté calcique

⁹⁹ Niveau annuel moyen le plus bas d'un cours d'eau. Ce terme d'hydrologie sert de point de repère pour mesurer les crues.

2.2.2.4.1 Adéquation des eaux souterraines à des fins de consommation et domestiques

Les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau comparés aux normes de l'OMS (1984, 1994, 2004) établi pour l'eau potable indiquent qu'ils sont impropres à la consommation humaine (Tab.34). Généralement, ce sont surtout les eaux de forage et puits situés côté Zab Ouest qui sont les plus concernés par les dépassements des limites maximales admissibles.

2.2.2.4.2 Adéquation des eaux souterraines à l'irrigation

La concentration et la composition des constituants dissous dans les eaux souterraines déterminent leur qualité pour l'utilisation en irrigation (Singh et al., 2015). L'aptitude de l'eau souterraine à l'irrigation est liée aux effets des constituants minéraux contenus dans l'eau sur les plantes et le sol. Une teneur en sels élevée dans l'eau d'irrigation cause une élévation de la pression osmotique de la solution du sol. L'effet des sels sur le sol provoquant des changements dans la structure du sol, la perméabilité et l'aération dans une incidence directe sur la croissance des plantes. Etant donné que les racines des plantes extraient l'eau par osmose¹⁰⁰, l'absorption d'eau des plantes diminue. La pression osmotique est proportionnelle à la teneur en sels. Un facteur important allié à la relation de la croissance des cultures à la qualité de l'eau est le drainage. Si un sol est bien drainé, les cultures peuvent y être cultivées avec l'application de généreuses quantités d'eau saline. D'autre part, une zone mal drainée combiné avec une application d'eau de bonne qualité peut ne pas produire une récolte satisfaisante.

Les paramètres chimiques importants pour juger du degré d'aptitude de l'eau pour l'irrigation sont : **le pourcentage de sodium (Na%)**, **le rapport d'adsorption du sodium (SAR)**, **le carbonate de sodium résiduel (RSC)**, **l'indice de perméabilité (PI)**, **la teneur en Magnésium**, sans oublier la **dureté de l'eau (TH)** qui vont être abordé, calculé et interprété pour la totalité de nos échantillons dans ce qui va suivre :

¹⁰⁰ passage de molécules de solvant, en général de l'eau, à travers une membrane semi-perméable, depuis le milieu le moins concentré (hypotonique) en solutés vers celui le plus concentré (hypertonique).

a. Le pourcentage de Sodium (Na%)

Le Pourcentage de sodium (Na%) est très utilisé pour évaluer la pertinence de la qualité de l'eau pour l'irrigation. La méthode Doneen est utilisée pour calculer le pourcentage de sodium (Joshi et al., 2009).

$$\text{Na\%} = [(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)] 100$$

(Les concentrations sont en méq/l)

D'après le % de sodium (Tab.37), la qualité de l'eau du forage de SO est excellente pour l'irrigation, celles des forages d'EG, D et L sont bonnes, tandis que celles des forages d'AN et MZ et du puit de D sont permmissibles. L'eau de l'Oued n'est pas utilisée car son écoulement n'est qu'éphémère (exceptionnel).

Tableau 37 : Pourcentage de Sodium.

Gamme Na (%)	Classification	Echantillons (Na%)	Gamme Na (%)	Classification	Echantillons (Na%)
0-20	Excellente	SO (15,21), AN _{Od} (9,45)	60-80	Douteuse	/
20-40	Bonne	EG (30,46), D _{Fg} (≈36), L (39,52)	>80	Inapproprié	/
40-60	Permissible	AN (≈43), MZ (≈44), D _{pt} (45,48)			

b. Le ratio d'absorption du sodium (SAR)

Le S.A.R ou Sodium Adsorption Ratio est utilisée comme un indice faisant référence à l'aptitude de l'eau pour l'irrigation par rapport aux quantités d'ions échangeables avec le sol. Si le SAR des solutions est élevée, les ions Na se retrouvent adsorbés préférentiellement sur les sols. Des quantités élevées de sodium dans les sols, affectent la croissance des plantes par (1) toxicité spécifique pour les plantes sensibles au Sodium, (2) des déficiences ou des déséquilibres nutritifs, (3) pH élevé, et (4) la dispersion des particules de sol qui provoque une mauvaise condition physique du sol (Bahri & Saibi, 2010). En d'autres termes, On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le SAR qui se calcul comme suit :

$$\text{SAR} = \text{Na} / [\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}]$$

Où Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ sont exprimés en méq/l.

- **Interprétation**

Selon la classification du SAR, comparé à nos résultats (Tab.38), nous avons un faible apport du sodium à la solution du sol via tous les points d'eau à l'exception de l'eau du puits situé à Doucen qui présente un risque moyen de sodicité. Cependant, on constate que, d'une façon générale, les eaux du Zab Est (SO, MZ) présentent un degré d'alcalinité faible par rapport à celles du Zab Ouest.

Selon Vasanthavigar et al. (2010) les valeurs du SAR supérieures à 2 indiquent que les eaux souterraines ne conviennent pas pour l'irrigation, cela implique tous les points d'eau à l'exception de celui du forage de SO.

Tableau 38: Classification SAR des eaux des sites étudiés.

SAR	Risque	Classification	Points échantillonné
<10	Faible	Excellente (adaptée à tous les types de cultures et de sol, sauf pour les cultures sensibles au Na)	AN _{Oued} (0,67), SO (1,08), MZ (3,26), EG (3,38), L (4,09), D (4,75), AN(5,17)
10 <SAR< 18	Moyen	Bonne (adaptée au sol à texture grossière ou organique avec une perméabilité)	D _{puits} (11,79)
18< SAR< 26	Elevé	Juste (nocif pour presque tous les sols)	-/
>26	Très élevé	Pauvre (impropre à l'irrigation)	-/

c. La Conductivité électrique (CE)

D'après le tableau 39 et la figure 25, tous les échantillons d'eau présentent un risque élevé à très élevé de salinité surtout côté Zab Ouest.

Tableau 39 : Classification des eaux selon la Conductivité électrique.

CE (µS/cm) Gamme	Classification	Echantillons
100- 250	C1 : Faible risque de salinité (excellente qualité)	/
250-750	C2 : Risque moyen de salinité (bonne)	/
750-2250	C3 : Risque élevé de salinité (moyenne)	MZ, SO, AN _{Oued}
>2250	C4 : Risque très élevé de salinité (mauvaise)	L, AN, EG, D, D _{puits}

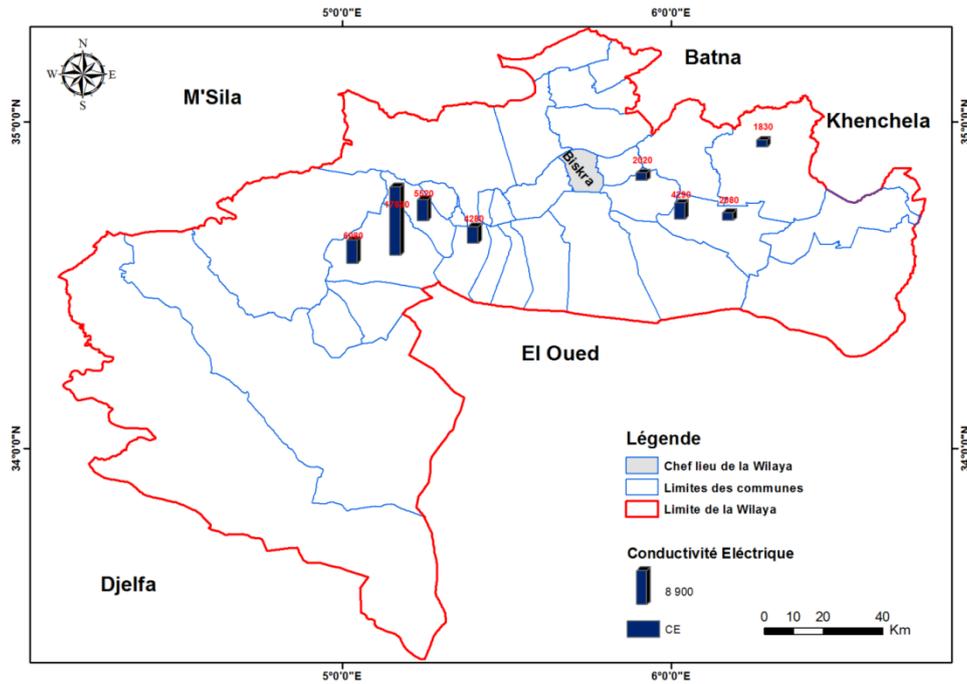


Figure 25 : Conductivité électrique des différentes eaux échantillonnées.

- **Diagramme Richards (Riverside, 1954)**

Ce diagramme permet la représentation graphique du S.A.R en fonction de la conductivité (rapport sodicité/Salinité) ce qui nous permet de déduire la classe à laquelle appartiennent les eaux analysées et leur adéquation pour l'irrigation en prenant en compte les deux paramètres. D'après ce diagramme (Fig.26.), on remarque que les eaux échantillonnées exploitées pour l'irrigation (à l'exception de l'eau de l'Oued) par nos agriculteurs se répartissent en trois classes:

- **C3S1** (3 échantillons : AN_{Oued}, SO, MZ): eau à fort pouvoir salinisant et de teneur faible en Sodium donc à faible pouvoir alcalinisant, pour l'irrigation, elle peut être admissible;
- **C4S2** (2 échantillons : L, AN) : eau très mauvaise et de qualité médiocre pour l'irrigation car à salinité très élevée et à moyen pouvoir alcalinisant, en général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.;
- **C5S2** (2 échantillons : EG, D) : Eau très fortement saline et de teneur moyenne en sodium donc à moyen pouvoir alcalinisant, eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions: sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel ;
- Plus un échantillon **hors classes** (1 échantillon : D_{puit}): cette eau ne convient pas à l'irrigation vu sa salinité excessive ($CE > 10000 \mu\text{S/cm}$) malgré le fait qu'elle a été classée bonne et à risque moyen selon son SAR ($10 < SAR < 18$) pris individuellement.

C'est pourquoi cette combinaison SAR-CE est mieux appropriée pour l'appréciation de l'adéquation des eaux à l'irrigation.

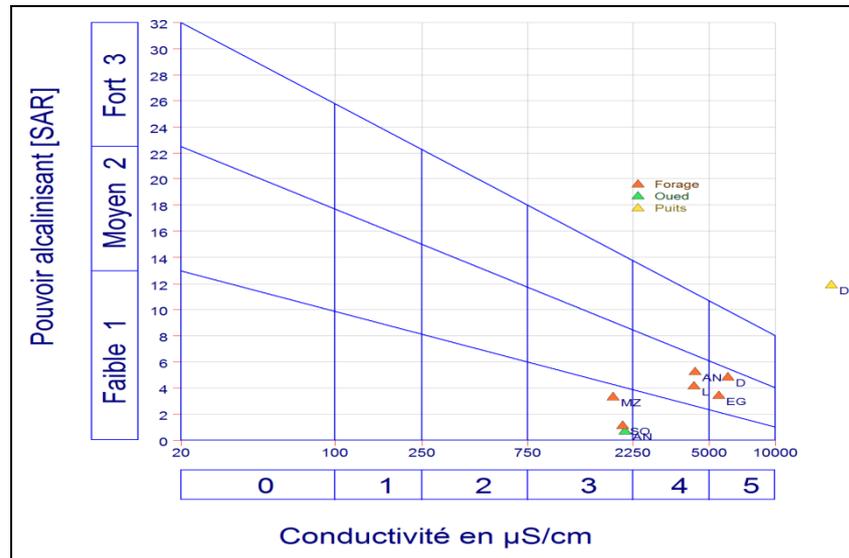


Figure 26 : Classification des eaux destinées à l'irrigation (D'après Riverside, 1954).

d. Le carbonate de sodium résiduel (RSC)

Le carbonate de sodium résiduel (RSC) a été calculé pour déterminer l'effet dangereux du carbonate et du bicarbonate sur la qualité de l'eau à usage agricole (Eaton 1950 in Raju 2007) et a été déterminé par la formule suivante:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ (en méq/l)}$$

D'après les résultats (Tab.40), il n'y a pas de danger par rapport aux éléments carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) pour toutes les eaux échantillonnées.

Tableau 40: Classification des eaux selon RSC.

RSC (méq/l) Gamme	Classification	Echantillons
<1,25	Bonne	Tous les échantillons d'eau
1,25-2,5	Moyenne	/
>2,5	Mauvaise	/

e. L'indice de perméabilité (PI).

La perméabilité du sol est affectée par l'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation et est influencée par le sodium, le calcium, le magnésium et le contenu en bicarbonate du sol (Raju, 2007). Doneen (1964) a évolué un critère d'évaluation de l'aptitude de l'eau pour l'irrigation sur la base de l'indice de perméabilité PI.

$$\text{PI} = \left[\frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} \right] 100$$

(Les concentrations sont en méq/l)

Le PI est utilisé aussi pour évaluer les risques de sodium de l'eau d'irrigation. Les valeurs de l'indice de perméabilité (PI) indiquent également l'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation (M. Kumar, Kumari, Ramanathan, & Saxena, 2007).

De façon générale et selon le calcul du PI, toutes les eaux souterraines échantillonnées conviennent à l'irrigation (Tab.41).

Tableau 41 : Classification selon l'Indice de Perméabilité.

PI Gamme	Classification	interprétation	Echantillons
Classe I (>75%)	Max -perméabilité	excellente qualité de l'eau pour l'irrigation	/
Classe II (25%-75%)	75 % de la max perméabilité	Bonne qualité de l'eau pour l'irrigation	MZ (61,58), AN (50,04), SO (28,53), EG (35,51), D (39,87), D _{puits} (47,50), L (46,31)
Classe III (<25%)	25 % de la max- perméabilité	l'inadaptation de l'eau pour l'irrigation.	AN _{Oued}

f. La teneur en Magnésium

La teneur en magnésium de l'eau est considérée comme l'un des critères qualitatifs les plus importants dans la détermination de la qualité de l'eau pour l'irrigation. En général, le calcium et le magnésium maintiennent un état d'équilibre dans la plupart des eaux. Plus de magnésium sera présent dans l'eau plus ça nuira aux rendements des cultures puisque les sols deviennent plus alcalins (Joshi et al., 2009).

$$\text{Teneur en Mg} = \left[\frac{\text{Mg}^{2+}}{\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}} \right] 100$$

Quatre sur sept des échantillons d'eau souterraines ont un rapport de Magnésium supérieur à 50% : AN (59%), SO (68%), D (\approx 58%) et D_{puits}(78%).

Le Calcium et le Magnésium ne se comportent pas pareil dans le système du sol et le magnésium détériore la structure du sol en particulier lorsque les eaux sont dominées par le sodium et sont très salées (M. Kumar et al., 2007). Le Haut niveau de Mg est généralement du à la présence du Na échangeable dans les sols irrigués. En se basant sur le rapport Mg / Ca on peut classer l'eau comme convenable ou impropre à l'irrigation. D'après ce rapport, toutes les eaux ne représentent pas de danger à l'exception de celle de SO à risque modéré et celle de D_{puits} qui est dangereuse donc impropre à l'irrigation (Tab.42).

Tableau 42 : Classification selon le Rapport Mg/Ca.

Rapport Mg/Ca	Classification	Echantillons
<1,5	Sans danger	MZ, AN, AN _{Oued} , EG, D, L
1,5-3	Danger Modéré	SO
>3	Dangereuse	D _{puits}

2.2.2.4.3 Estimation de la vulnérabilité des eaux à la pollution

D'après le tableau 43, qui récapitule toutes les classes des indices calculés plus haut, ainsi que celle de vulnérabilité à la pollution par les herbicides selon Kolpin et al. (2000), les eaux prélevées sur sites situés au Ziban Ouest (de texture légère) sont les plus salées, elles sont de ce fait vulnérables à la pollution par les pesticides (si l'on retient qu'il y a une similitude entre transfert des sels et transfert des polluants en solutés).

Tableau 43 : Estimation de la vulnérabilité des eaux à la pollution par rapport à quelques caractéristiques physico-chimique analysés et indices calculés.

Paramètres et Indices eau	Ziban Est				Ziban Ouest			
	MZ _{Fg}	AN _{Fg}	AN _{Od}	SO _{Fg}	EG _{Fg}	D _{Fg}	D _{Pt}	L _{Fg}
	Qualité de l'eau d'irrigation							
TH	Très dure	Très dure	Très dure	Très dure	Très dure	Très dure	Très dure	Très dure
Na(%)	Permissible	Permissible	Excellente	Excellente	Bonne	Bonne	Permissible	Bonne
SAR	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Moyenne	Excellente
CE	Elevée	Très élevée	Elevée	Elevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée
RSC	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
PI	Bonne	Bonne	Inadaptée	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Mg/Ca	Sans danger	Sans danger	Sans danger	Danger modéré	Sans danger	Sans danger	Dangereuse	Sans danger
NO ₃ ⁻	<	<	<	<	>	>	>	>
TDS	1309	2388	1862	1257	3032	3369	9592	2197
	Vulnérabilité aux pesticides							
OD et Profondeur	Inter.	Inter.	Inter.	Inter.	Inter.	Inter.	Haute	Inter.

Notes : < et > 50mg/l. Inter : intermédiaire

Conclusions

Les sols étudiés sont basiques, avec une teneur naturelle en MO généralement faible, ils sont pauvres en argiles (exception le sol du site de M'Ziraa) ; les sols d'El Ghrous, d'Ain Naga et de Sidi Okba sont ceux qui contiennent le plus de sables ; ils sont modérément calcaires à fortement calcaires pour ceux situés aux Ziban Ouest et Est respectivement.

La nappe phréatique, est plus atteinte par les pollutions (ex.nitrates) que la Mio-pliocène qui est plus profonde. Les eaux des forages des sites situés à l'ouest de la zone d'étude sont plus marquées par les différents indices de pollution et donc présentent un risque plus élevé de contamination, elles sont, par ailleurs, impropres à la consommation humaine. Les eaux des forages étudiées présentent un faciès chimique globalement bicarbonaté sodique à magnésien et chloruré sodique pour les eaux les plus profondes du Mio-pliocène situé à l'Est, et un faciès chimique chloruré calcique et sulfaté magnésien à sodique pour les eaux du côté Ouest. Pour l'eau de la nappe phréatique, le faciès est chloruré sodique. Les ions dominants sont donc le plus souvent les bicarbonates, les chlorures et les sulfates pour les anions et le sodium, le calcium et le magnésium pour les cations.

On peut déjà avancer qu'il y a une certaine relation entre la salinité des eaux et le risque de pollution par les pesticides.

De façon générale, ces conclusions sont à confronter avec les résultats de l'enquête : surtout pratiques phytosanitaires (Nombre et type de SA, nombre de traitement, quantités appliquées) et de certaines pratiques agricole (apport de fumier, paillage plastique) qui peuvent freiner ou au contraire accroître les processus de transport et de diffusion des pesticides.

Chapitre 3

Evaluation des degrés de contamination des sols et des eaux

Introduction

Nous n'avons pas connaissance de travaux sur la détection de contaminants des sols et des eaux par les pesticides au niveau des Ziban. Plusieurs travaux ont abordés les problèmes de contamination des eaux liée aux nitrates comme les travaux de Sedrati (2011) et Drouiche et al. (2013).

Dans ce chapitre, nous allons qualifier et quantifier certains des contaminants qui sévissent dans les matrices sol et eau dans un système de production maraîcher intensif représenté par la plasticulture. La détection et la quantification sont liées à des méthodes analytiques multi-résidus par chromatographie gazeuse et liquide couplées à la spectrométrie de masse.

3.1 Niveau de contamination des sols agricoles serricoles par les pesticides

3.1.2 Matériels et méthodes

Les analyses de pesticides ont été réalisées par la technique multi-résidus par chromatographie gazeuse et liquide et détection en spectrométrie de masse (MS). Elles portent sur des sols prélevés pendant la deuxième campagne (Avril) ; les échantillons ont été congelés à -18°C (voir partie échantillonnage chapitre caractérisation des sols et des eaux). Ces analyses ont été effectuées au niveau du LABOCEA, site de Brest-France au mois d'Octobre 2014.

3.1.1.1 Analyse de pesticides en multirésidus par chromatographie liquide et gazeuse

Qu'il s'agit d'échantillons de sol ou d'eau, ils subissent différentes opérations préalables à l'analyse proprement dite il s'agit de l'extraction, la purification et la concentration. Les molécules analysées doivent être contenues dans un solvant organique approprié pour pouvoir être injectés et analysés dans le chromatographe.

- **Préparation des échantillons « Sol »**

Il s'agit des opérations d'extraction, de purification et de concentration.

3.1.2.1.1 Extraction Solide-Liquide (ESL)

Comme son nom l'indique, cette opération consiste à extraire ou séparer le polluant contenu dans la matrice sol à l'aide de solvants appropriés généralement de l'acétone ou du dichlorométhane de qualité analytique. Les étapes d'extraction sont les suivantes :

- **Préparation du filtrat**

a-Echantillonnage de 5g de sol dans un flacon en verre transparent de 250 ml; **b**- Ajout à ces 5g de sol de 50 ml d'acétone; **c**- Acidification par 100 µl d'acide sulfurique prélevé à l'aide d'une pipette électronique; **d**- Vérification du pH \approx 2 avec du papier pH; **e**- Ajout d'une quantité équivalente à 50 µl d'EIM (Etalon Interne Multi-résidus) à l'aide d'une seringue fine en verre; **f**- Homogénéisation aux ultrasons (15 mn) (Fig.27); **g**- Agitation de 30 mn ; **h**- Décantation (5mn) ; **i**- Filtration pour enlever le sol sur des filtres imbibés avec quelque ml d'acétone ou de dichlorométhane. La récupération du **filtrat** se fait dans des bouteilles en verre transparent de 250 ml identifiés avec les mêmes codes, que les flacons initiaux.

- **Pour le passage en chromatographie liquide (LC)**

Prélevement dans des vials de 1,5 ml du filtrat précédent ; Ajout de 100 µl d'acétone ; Prélevement de 100 µl dans des nouvelles vials de 20 ml ; Ajout de 10 ml d'eau d'Evian¹⁰¹ et 20 µl d'acide formique; c'est ces derniers vials qui vont être congelés en attente d'être analysés. Le jour prévu pour l'injection dans le chromatographe, ils sont décongelés (une heure avant) puis homogénéisés aux ultrasons (pendant 10 à 15 mn). Un prélevement de 1,5 ml dans des vials d'injection transparents sans insert permet de procéder à l'analyse. L'Analyse est réalisée par SPE/TQD (Solid phase extraction/Triple Quad detector) par système HPLC¹⁰² couplé à un spectromètre de masse.

¹⁰¹ L'eau d'Evian peut être remplacée par l'eau distillée ou une autre eau de composition connue ne contenant pas de polluants.

¹⁰² Abréviation anglaise « high pressure liquid chromatography » ou « chromatographie en phase liquide à haute performance ».

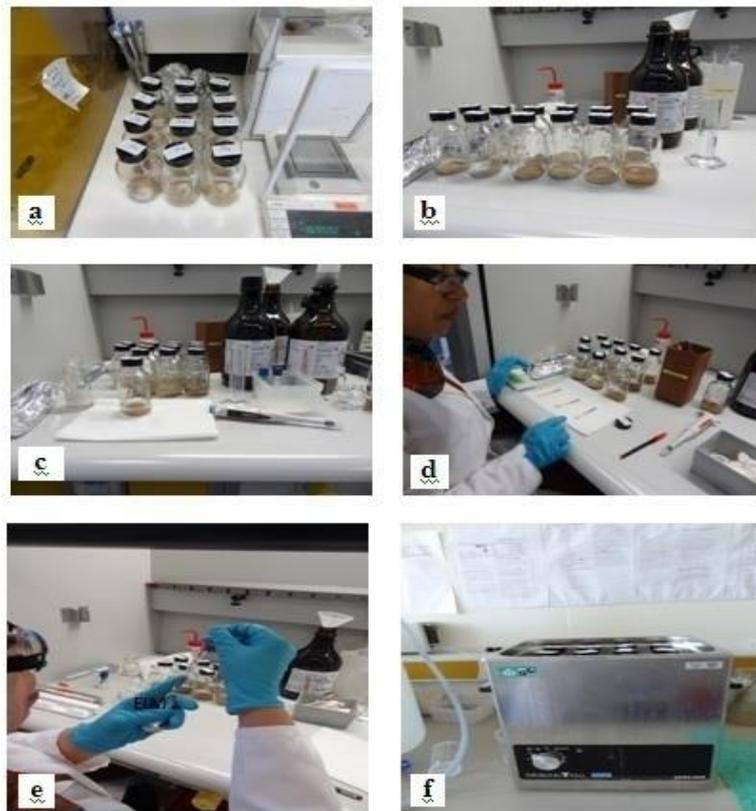


Figure 27: Les principales étapes de l'extraction des pesticides à partir d'un échantillon sol.

- **Pour le passage en chromatographie gazeuse (GC)**

Le Prélèvement de 30 ml du même filtrat antérieur « initial » avec une pipette munie à son extrémité supérieure d'une seringue et déposée dans une bouteille en verre ambré de 1L portant le même numéro de l'échantillon; Ajout de 500 ml d'eau d'Evian et 25 ml de dichlorométhane ; Agitation pendant 20 mn. Trois extractions successives sont réalisées :

- **Première extraction**

Après l'agitation et quelques minutes de décantation procéder à la première extraction en récupérant le dichlorométhane dans des flacons en verre de 250 ml à l'aide d'une seringue en verre et de plusieurs pipettes au nombre des échantillons et qui resteront dans les bouteilles jusqu'à la fin des extractions.

- **Deuxième extraction**

Mettre les flacons de côté et revenir aux bouteilles ambrées pour faire une deuxième extraction après ajout de 15 ml d'acétate éthyle, de 10 ml de dichlorométhane, de 250 μ l d'acide sulfurique (au 1/2) et de 500 μ l d'acide acétique glacial et agitation pendant 20 mn; Le

dichlorométhane formera en bas de la bouteille ambrée, une phase huileuse dite « Phase Organique » apparente sous forme de bulles et c'est cette phase qu'on devra prélever en évitant de prélever de l'eau. Dans la pipette d'extraction il se forme deux phases : une phase de dichlorométhane en bas (plus dense) et une autre phase d'eau en haut (qu'on remettra dans la bouteille ambrée).

- Troisième extraction

Pour la troisième et dernière extraction, on revient encore une fois aux bouteilles ambrées. On procède à un ajout de 5 ml de dichlorométhane suivi d'une agitation pendant 5 mn puis au prélèvement de la phase organique qui se formera dans les bouteilles ambrées qu'on récupérera dans les mêmes flacons de 250 ml. On passe après à la phase de purification.

3.1.2.1.2 Purification ou « Clean up » par SPE

Cette opération consiste à purifier l'extrait obtenu ou avec d'autres termes débarrasser ce dernier des impuretés dont les diamètres dépassent ceux des substances recherchées, cette opération est parfois appelée "Clean-up". Dans des colonnes de purification en verre munies à leur extrémité d'un robinet (Fig.28a), on introduit un peu de laine de verre qu'on entrainera en bout de colonne (grâce à une tige mince en verre ou en métal) puis on les remplit avec ce qui correspond à 8 g de Florisil¹⁰³, conditionner la colonne (ou le florisil) avec 15 ml de Méthanol (MeOH) qu'on récupère dans des flacons et qu'on jette. Verser ensuite notre solution d'extrait d'échantillon sur le florisil puis et au fur et à mesure que la solution d'échantillon progresse dans la colonne de florisil et pour que ce dernier ne sèche pas on ajoute 10 ml de Méthanol (il ne faut pas aussi qu'il y est de l'eau). La solution est ainsi récupérée dans des cônes transparents à cellule de 500 µl posés sur des supports plastiques en bas des colonnes (Fig.28b). Le trait noir sur les colonnes de purification, marque l'ajout des 10 ml de Méthanol et ce pour éviter un double ajout.



Figure 28 : Les étapes de la purification des extraits à partir d'échantillons sol.

¹⁰³ Un gel dur en poudre de silicate de magnésium utilisé en chromatographie préparative et analytique.

3.1.2.1.3 Concentration

La concentration de l'échantillon-extrait-purifié se fait par évaporation, cette dernière opération prend environ 40 mn lorsqu'on réalise 3 rinçages. Pour les analyses de multi-résidus en CPG seulement 2 rinçages, sont réalisés en 30 mn.

- **Appareil**

L'évaporation a été réalisée grâce à un évaporateur ou "Turbovap" (Fig.29) de marque "Agilent" contenant de l'eau qui affiche une température comprise entre 34°C et 36°C (a). Le "Turbovap" est constitué de 6 loges (c) pouvant contenir 6 cônes. Il est posé sous une hotte Sorbonne. Par mesure de sécurité, une fois qu'on termine avec le "Turbovap", il faut l'éteindre, le laisser ouvert (pour le protéger contre la corrosion). Il faut aussi fermer avec des bouchons en caoutchouc (d) noir les loges ne contenant plus de cônes.



Figure 29 : Le TurboVap.

- **Principe**

Il faut insérer les cônes contenant l'extrait-purifié à l'intérieur des 6 loges, le premier passage à évaporation se fera sans ajout, puis fermer le couvercle du "Turbovap" et appuyer sur les 6 boutons (Fig.29) correspondants aux 6 positions des loges occupées, là des signaux lumineux s'affichent. Une fois le Turbovap fermé, il y a un jet d'azote qui vient s'introduire dans les cônes, ce qui permet la concentration de l'extrait-purifié. Dès qu'un signal lumineux clignote en émettant un bip continu, il faudrait soulever le couvercle du "Turbovap" en vérifiant le niveau à l'intérieur du cône (dont la position correspond à celle du signal lumineux qui s'est déclenché). Si jamais le niveau arrive au rebord/limite supérieur de la cellule de 500 µl pour les extraits sol (cellule de 250 µl dans le cas des échantillons d'eau) à l'intérieur du cône, il faudrait procéder au premier rinçage avec ajout dans le cône de 5 ml de dichlorométhane puis

remettre le cône en place en ré-appuyant sur le bouton pour que le signal lumineux s'affiche. Les cônes qui ont été rincés, ont été marqués par un trait.

Il faut après avoir ajouté le dichlorométhane, agiter un peu les cônes à la main par un mouvement circulaire ou alors à l'aide d'un agitateur: Le "Vortex" (Fig.30b) qui fait tourbillonner le mélange (juste une fraction de seconde).



Figure 30 : a) Le TurboVap, b) le Vortex, c) une bouteille de dichlorométhane munit de d) pompe doseuse à volume réglable.

Enfin, récupérer selon les cas à la fin du deuxième rinçage les 500 μ l de solution qui reste. Dans le cas où y'en a moins dans la cellule du cône, on réajustera au 500 μ l par du dichlorométane. À présent, mettre dans des vials munis d'insert à l'aide de pipette électronique de capacité programmée (d'un seul clic) 55 μ l de la solution à partir des cellules de chacun des cônes avant passage au HP3 (CPG) et mettre ce qui reste de la quantité de la solution dans des vials doubles qui serviront de réserves et qui seront injectés en cas de besoin (Fig.31).

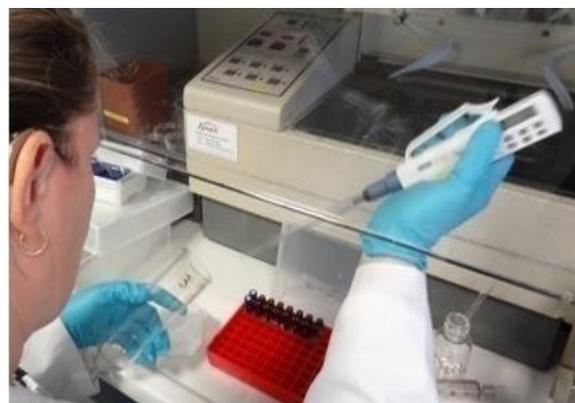


Figure 31 : Récupération de la solution concentrée dans des vials doubles avec et sans insert.

Il faut faire attention en fermant les vials à ne pas trop serrer les bouchons pour que le centre de ces derniers ne se détache pas en permettant l'évaporation du contenu des vials. Enfin, fermer les boîtes contenant les vials dont on a porté la date, le type de molécules recherchées, le type d'analyse à faire (CG ou LC) sur le couvert et les mettre dans le réfrigérateur.

En multi-résidus, pour une analyse en GC, les vials mis à 4°C sont sortis peu de temps avant l'injection. Pour passage en LC, les vials sont mis directement sur le carrousel à 4°C, ils peuvent être piqués directement à froid.

3.1.2.1.4 Analyse proprement dite

a. Les chromatographes

Au laboratoire « Labocea », Il y a plusieurs équipements dont des HPLC, un CPG-MS/MS, 4 CPG/MS et des CPG à détection Ultra-V. Chaque équipement est couplé à un détecteur et un enregistreur avec logiciel de traitement. Chaque chromatographe est doté d'un « autosampler », ou auto-échantillonneur/injecteur automatique. Les échantillons sont placés dans un carrousel programmable (Fig.32).

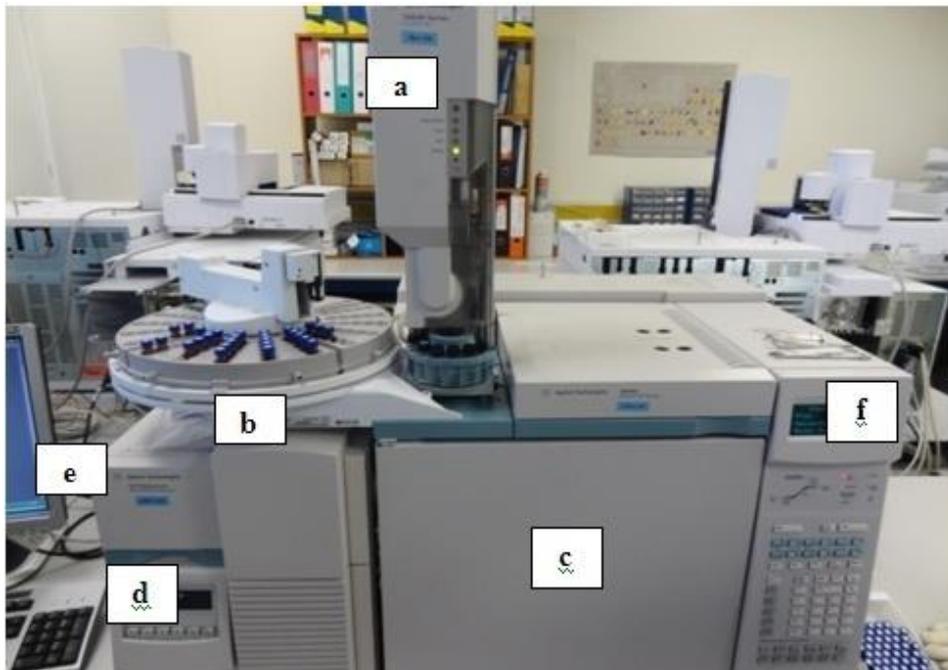


Figure 32: Chromatographe en phase gazeuse munit d'un : a) injecteur automatique (autosampler), b) carrousel, c) four/emplacement de la colonne analytique, d) détecteur et e) enregistreur, f) tableau de réglage des conditions analytiques.

- **Par chromatographie liquide (HPLC/MS-MS)**

L'Analyse se fait par SPE/TQD avec injection de 1 ml en TQD =Triple Quad detector ou TQMS¹⁰⁴ (Triple Quadrupole Mass Spectrometer).

- **Par Chromatographie gazeuse (GC/MS)**

L'analyse est réalisée par GC/MS. La durée d'une analyse est le « RUN », cette étape dure une heure pour les analyses en multirésidus.

b. Conditions internes d'analyses

Les chromatographes sont conditionnés/programmés dès le premier usage concernant la température, la pression, le débit et le gaz vecteur (en GC). Il faut noter qu'en LC, la phase mobile qui entraîne les molécules à l'intérieur de la colonne est un liquide au lieu d'un gaz.

b.1 Conditions en CPG (chromatographie en phase gazeuse)

Les conditions chromatographiques étaient les suivantes : Colonne capillaire (longueur : 60 m, diamètre intérieur : 0,25 mm, épaisseur du film : 0,25 µm), injection de 1 µl en mode « *splitless* »¹⁰⁵. La température du four était programmée comme suit : température initiale de 50°C maintenu pendant 1 mn, suivie d'un premier gradient de température de 40°C/mn jusqu' à 90°C et d'une deuxième rampe de 6° C/mn jusqu' à 320°C pendant 15 mn (après que soient écoulées, l'analyse est terminée). Le gaz vecteur était l'hélium avec un débit constant de 1,5 ml/mn et une pression de 1,6 psi¹⁰⁶.

c. Détection ou technique d'acquisition et d'interprétation des données

La Chromatographie liquide (LC) de séparation est associée avec une détection par spectrométrie de masse en tandem, (MS-MS) alors que la Chromatographie gazeuse (GC) est couplée à un spectromètre de masse.

Les différentes molécules de la gamme (étalons internes) ou contenues dans les échantillons passées dans le chromatographe s'enregistrent après détection (MS-MS ou MS) sous forme graphique et sont reconnues par leur temps de rétention spécifique (empreinte) et leur pics. Chaque molécule possède une masse différente exprimée en uma (unité de masse atomique).

¹⁰⁴ Un spectromètre de masse triple quadripolaire (TQMS) est un spectromètre de masse en tandem composé de deux analyseurs de masse quadripolaires en série, avec une fréquence radio (RF) (non-résistant à la masse) qui est un quadripôle entre eux pour agir seulement comme une cellule pour la collision-induite de la dissociation.

¹⁰⁵ Sans diviseur de flux, mode recommandé pour la détection de traces.

¹⁰⁶ Pound per Square Inch (Livre par pouce carré), 1 psi ≈ 0.069 bar.

L'analyse se fait en mode SIM (*single ion monitoring*) en choisissant un ion M/z (Mass/charge ratio) pour « quantifier » et 2 ions M/z pour « qualifier », cette méthode permet de s'assurer qu'il n'y a pas d'interférence et d'obtenir une grande sensibilité.

d. Rendement des molécules GC et LC par la méthode interne pour le dosage de polluants organiques dans les sédiments/sols :

Le rendement est corrigé par l'utilisation des nombreux étalons internes ajoutés juste avant l'extraction.

3.1.3 Résultats et discussion

3.1.3.1 Analyse multi-résidus dans les sols étudiés

Ces résultats sont obtenus après analyses en multi-résidus par chromatographie gazeuse ou liquide et par détection en Spectrométrie de masse (MS) simple ou en Tandem (MS/MS) et en comparaison avec une large gamme d'étalons internes.

Comme le montre le tableau 44, au total 145 éléments dont 98 substances actives pesticides, 16 Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique (HAP), 11 polychlorobiphényles (PCB), 10 polybromodiphényléthers (PBDE) et 10 autres substances diverses (annexe 19) que contenait la solution d'« Etalons internes » utilisée en GC et LC ont été analysées.

Les SA enquêtées avec lesquelles on va comparer les résultats sont celles rapportées par les vendeurs et les 6 enquêtés dont les sols et les eaux ont été échantillonnés. Cependant on se référera au tableau global (Liste définitive total enquêtes) quand c'est nécessaire.

Tableau 44 : Nombre et type de SA analysées par GC et LC (identifiées et non identifiées par les enquêtes) dans la matrice « sol ».

Composés analysés		HAP*	Pesticides	PCB*	PBDEs*	Divers*	Total	
Par GC		16	57	11	10	10	104	
Par LC		-	41	-	-	-	41	
Total		16	98	11	10	10	145	
Composés analysés	Identifiés par enquête	< DL**	-	10	-	-	10	
		> DL	-	5	-	-	5	
	Non identifiés par enquête	> DL	9	4	-	-	6	19
		< DL	7	79	11	10	4	111
Total		16	98	11	10	10	145	

*Annexe 19, ** Limites de détection,

Les solutions d'étalons internes comptaient donc des mélanges de plus d'une centaine de SA pesticides, HAP, PCB, de PBDE ainsi que d'autres substances diverses. Dans ce qui va

suivre, seule les résultats des SA-pesticides (en relation avec l'usage des phytosanitaires) qui ont pu être détectées et quantifiées dans les échantillons-sol parmi cette gamme que la méthode analytique offrait vont être discuté. Il faudrait noter que les limites de méthodologie (échantillonnage, conditions et temps de stockage, temps écoulée entre prélèvement et analyse) et celle de la méthode analytique (nombre de molécules analysées, limites), ont fait qu'un nombre important de SA a été rapporté par enquête mais soit non analysé soit en dessous des limites de détection.

Effectivement comme peut le montrer le tableau suivant (Tab.45), 15 SA parmi celles rapportées par enquête globale ont pu être analysées dans la matrice sol, 10 SA : **chlorothalonil, cyperméthrine, endosulfan, hexaconazole, chlorpyriphos-éthyl, diazinon, ethoprophos, difénoconazole, cyproconazole, epoxiconazole** analysées par chromatographie Gazeuse et 5 SA : **carbendazime, imidaclopride, propamocarbeHCl, cyprodinil, tebuconazole** analysées par chromatographie liquide. Il faut signaler que la plupart (7/9) des résultats de détection des différents pesticides ont été obtenu grâce à la chromatographie gazeuse.

Tableau 45: Classement par importance des substances actives analysées et non analysées dans la matrice « Sol » rapportées par les enquêtes.

(L'importance est appréciée par le rang relatif des résultats d'enquêtes et des témoignages. (Important = rang <10 et témoignages ≥ 50%). Les SA hors classement proviennent de la liste finale des pesticides rapportés seulement par d'autres enquêtés mais pas les vendeurs).

SA Analysées	Importantes	carbendazime^{LC}, chlorothalonil^{GC}, cyperméthrine^{GC}, endosulfan^{GC}, hexaconazole^{GC}, imidaclopride^{LC}, propamocarbeHCl^{LC}.
	Moins importantes	chlorpyriphos-éthyl^{GC}, diazinon^{GC}, ethoprophos^{GC}, difénoconazole^{GC}.
	Hors classement	cyproconazole^{GC}, epoxiconazole^{GC}, cyprodinil^{LC}, tebuconazole^{LC}.
SA Non analysées	Importantes	abamectine, acetamipride, amitraze, azoxystrobine, chlorantraniliprole, dicofol, emamectine-benzoate, hyméxazol, mancozèbe, méthomyl, méthylthiophanate, penconazole, thiocyclam-hydrogène oxalate, triadiménol,.
	Moins importantes	bifenthrine, bromuconazole, buprofézine, chlorpyriphos-méthyl, cymoxanil, cyprodinil, deltaméthrine, diafenthiuron, difénoconazole, fenpyroximate, fludioxonil, folpet(Folpel), fosétyl alluminium, indoxacarbe, iprodione, lambda cyhalothrine, manèbe, métalaxyl, métalaxyl-M, propargite, propinèbe, quinosol, spinosad, thiaclopride, thiaméthoxam,

^{LC, GC} Analyser par Chromatographie liquide ou gazeuse respectivement.

- **Pesticides détectés par GC/MS et LC /MS**

Le tableau 46 montre que sur, à peu près 57 substances actives (annexe 19) pesticides qui ont été analysées par chromatographie gazeuse (GC), seules 7 SA ont pu être détectées par la spectrométrie de masse dans les échantillons sol parmi lesquelles seules 3 SA fongicides : le chlorothalonil, le difenoconazole et l'hexaconazole étaient rapportées par enquête, les 4 autres SA étaient non soupçonnées car non renseignées par les différentes enquêtes, ce sont : l'azinphos méthyl (Organophosphoré), le Deethylatrazine (DEA) (Triazine), le parathion-méthyl(Organophosphoré) et un métabolite du DDT, il s'agit du p,p'-DDE (Organochloré). Seules 2 SA-pesticides parmi N= 41 (annexe 19) analysées ont été détectés par la chromatographie liquide (LC), il s'agit du carbendazime et de l'imidaclopride, tous deux signalés par enquête. En l'absence de normes nationales ou provenant de pays à situation comparable, nous avons pu utiliser par défaut une norme en provenance du Canada dans l'analyse des résultats concernant le p,p'-DDE.

D'autre part, Le sol du site de Sidi Okba a été marqué par le plus important nombre de détections (7/9 SA), suivi par celui d'El Ghrous (5/9 SA), de Ain Naga et Doucen (4/9 SA chacun) et enfin les sols des sites de M'Ziraa et de Lioua (3/9 SA chacun). Seules l'azinphos-méthyl et le pp'-DDE étaient omniprésents (tous sites, toutes profondeurs).

Tableau 46 : Concentrations (ug/kg de poids sec) des principales SA- pesticides et métabolites détectés par GC/MS dans les sols étudiés.

Pesticides détectés	Type	Région	Zab Est						Zab Ouest						Valeurs limites
		Localités	M'Ziraa-sol		Ain Naga-sol		Sidi Okba-sol		El Ghrous-sol		Doucen-sol		Lioua-sol		
		Limites de détection (ug/kg poids sec)	Profondeurs (cm)												
			0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30	
		Analyse par GC/MS													
Azinphos methyl (AZM)	I	<2	11,1	14,8	8,4	36,5	11,0	16,7	22,1	5,5	51,1	24,8	11,5	7,8	
Chlorothalonil	F	<1	-	-	1,1	-	1,5	-	2,0	-	3,3	-	-	2,0	
Déethylatrazine (DEA)	H	<0.5	-	-	-	-	-	1,38	-	-	-	-	-	-	
Difenoconazole	F	<2	3,95	3,52	8,65	8,52	4,47	7,74	-	-	-	2,87	-	-	
Hexaconazole	F	<1	-	-	-	-	3,33	2,03	-	-	-	-	-	-	
Parathion methyl	I	<2	-	-	-	-	-	-	4,59	-	-	-	-	-	
pp'-DDE	I	<0.1	0,89	0,91	0,75	0,73	0,76	0,79	0,98	0,97	0,85	0,84	0,78	0,76	100 ^a
			Analyse par LC/MS												
Carbendazime	F	<20	-	-	-	-	22	10	-	-	-	-	-	-	
Imidaclopride	I	<20	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	

^a: Valeur guide des sols contaminés en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de sol sec au Canada (Jauzein et al., 1995 in Mawussi., 2008)

a) Approche par produit

D'après les enquêtes (chapitre 1 partie II) Le chlorothalonil, le difénoconazole, l'exaconazole, le carbendazime et l'imidaclopride sont tous utilisés sur les cultures sous serres au Ziban et sont même bien positionnées sur les listes de classement. Ce qui fait que leur détection n'est pas une surprise.

- *Le chlorothalonil*

Le chlorothalonil a été détecté dans tous les sites à l'exception de celui de M'Ziraa. Les niveaux résiduels détectés dans les sols étudiés vont de 1,1(AN) à 3,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids sec (D). Il est détecté exclusivement dans les horizons de surface.

Jin et al. (2014) ont montré que l'accumulation du Chlorothalonil peut résulter des applications répétées en serre. L'accumulation observée pourrait provenir de la dégradation inhibée résultant des applications successives et produisant une vitesse de dissipation plus lente en serre (DT_{50} ou dégradation dans le sol, annexe 21).

- *Le difénoconazole*

Cette SA est détectée dans les 3 sols échantillonnés au Ziban Est et dans un seul site situé à l'Ouest (Doucen) à des concentrations variant entre 2,87(D) – 8,65 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids sec (AN). Les teneurs sont du même ordre de grandeur en surface et en profondeur.

- *L'hexaconazole*

Ce fongicide, non approuvé d'usage selon le PPDB, est autorisé en Algérie selon l'édition 2007 de l'index des produits phytosanitaires à usage agricole. Cette SA n'a été détectée que sur le site de Sidi Okba à des concentrations allant de 2,03 à 3,33 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids sec sur la profondeur 5-30 et 0-5 cm respectivement.

- *Le carbendazime*

Le carbendazime est en tête des SA fongicides déclarées par les vendeurs de PPS, vient en deuxième position ; le méthylthiophanate qui donne également du carbendazime après son hydrolyse. Cette SA a été détectée seulement dans le site de Sidi Okba à des concentrations allant de 10 à 22 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ détectée dans la deuxième et la première profondeur respectivement.

- ***L'imidachlopride***

L'imidachlopride a été détecté dans un seul site (celui d'EG) sur les premiers 0-5 cm à une concentration de 11 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

- ***Le parathion méthyl***

Cette SA organophosphorée a été détectée seulement sur le site d'El Ghrous et sur la première profondeur (0-5cm) uniquement à une concentration de 4,59 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Cette concentration proviendrait, à notre avis, de fuite ponctuelle (accidentelle).

- ***La dééthylatrazine (DEA)***

Le déséthylatrazine ou deethylatrazine (DEA) est détecté sur le site de Sidi Okba à une concentration de 1,38 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids sec, sur la deuxième profondeur (5-30cm). Étant donné que la céréaliculture est également pratiquée par les agriculteurs de la commune de Sidi Okba et même par les agriculteurs pratiquant la serriculture, il n'est pas aussi surprenant que ce produit de dégradation d'herbicide « atrazine » soit présent.

- ***L'azinphos-méthyl***

L'azinphos méthyl a été décelé dans tous les sols étudiés et sur les deux profondeurs à des concentrations variant entre 5,5 (EG) et 51,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids sec (D) (Tableaux 58 et 59). La fréquence des détections et l'importance des teneurs maximales, suggère son utilisation dans l'agriculture au Ziban. Cela est en contradiction avec le fait qu'il n'a pas été renseigné ni par les vendeurs de PPS ni par aucun des serristes enquêtés.

Dans l'étude de Khaled-Khodja (2016) l'azinphos-méthyl a été parmi la gamme de pesticides analysés par le même laboratoire « Laboceca » dans les eaux et des sédiments d'Oueds près du Golfe d'Annaba (ville au Nord-Est algérien) pendant octobre 2009 février 2010 mai 2010 et août 2010. Cependant, il n'a pas été détecté. Les concentrations en azinphos méthyl de cette étude sont de 2 à 20 fois plus importante que celle trouvée dans un verger de prune en Afrique du Sud (SA Reinecke & Reinecke, 2007) . Peu de travaux traitent de la détection de cette SA dans le sol, alors que beaucoup d'études visent le végétal (fruit, feuille) surtout en verger (pommiers, pêchers, pruniers, abricotiers) ou les ravageurs qui s'y attachent (ex. *Cydia pomonella* : carpocase du pommier et du poirier).

- ***Le p,p'-DDE***

L'un des principaux métabolites du DDT, le p,p'-DDE (4,4'-DDE) a été détecté sur tous les sites et sur les deux profondeurs à des concentrations assez proches variant entre 0,73 (AN) et

0,98 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids sec (EG). Ces valeurs sont très inférieures ($\approx 1/100^{\text{ème}}$) à la valeur guide canadienne des sols contaminés de 100 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de sol sec. Les concentrations en p,p'-DDE dans le sol en région d'étude étaient largement supérieures aux concentrations enregistrés au Maroc soit à Tanger (Nord) ou à Kénitra (Ouest). Ces concentrations sont par ailleurs, très en dessous des concentrations enregistrées en Tanzanie et sont de 2 à 5 fois supérieures aux concentrations enregistré dans les sédiments en zone côtière d'Annaba (Nord-Est Algérien) (Tab.47). Les données sur le p,p'-DDE concernant sa détection dans toutes les matrices étaient beaucoup plus abondantes que celles sur l'azinphos méthyl. Ce fait est probablement à relier fait que le premier, est un POP, métabolite du DDT qui est très résilient dans les sols. Universellement utilisé dans le passé agricole (Interdiction définitive dans les années 1980). Les métabolites du DDT sont en effets retrouvés dans le sol de multiples endroits dont par exemple la région de Naples (Chenkai Qu et al., 2014).

Tableau 47 : Comparaisons des concentrations des SA insoupçonnés détectés dans la présente étude avec quelques données de la littérature.

Substances actives Non soupçonnées	Détection (ug/kg poids sec)			Usages des terres, cultures pratiquées	Région, Pays	Références
	Présente étude	Littérature	Matrice			
Azinphos-méthyl	5,5 – 51,1	Zone cible : nd – 2,58 – 7,83 Zone non cible : nd- 2,9- 7,93 (ug/kg ps) en Octobre - Décembre et janvier respectivement.	Sol	Verger de prunes.	Le Cap-Occidental, Afrique du Sud.	(SA Reinecke & Reinecke, 2007)
		ILD - 0,178 ILD - 0,102 (ug/l)	Es ES	Serres (tomates, poivron, aubergine), vergers (agrumes).	Kumluca région, côte méditerranéenne l'Ouest de la ville d'Antalya, Turquie.	(Aneja et al., 2008)
p,p'-DDE (4,4'-DDE)	0,73 – 0,98	0,02 ± 0,003 (ug/kg ps)	Sol	Pommes de terre, tomates, céréales, choux, chou-fleur, carottes, laitue, betteraves, etc.	Tanger, Nord du Maroc.	(H. El Bakouri et al., 2008)
		2008 : 0,03 (janvier) - 0,22 (juillet); 2009 : 0,02 (janvier) - 0,57(juillet) (ug/kg ps)	Sol	Agriculture intensive	Zone rurale de Kenitra , Gharb du Maroc	(Bellamine et al., 2012)
		ILD - 214 (ug/kg ps)	Sol	Champs de tomate.	Ngarenanyuki, Tanzania.	(Kihampa et al., 2010)
		1,9 - 4,00 (ug/kg)	Sédiment	Céréaliculture, maraîchage, arboriculture.	Station de l'oued Bouhamra et de l'oued Seybouse, Annaba, Nord-Est d'Algérie.	(Khaled-Khodja, 2016)
		ILD – 0,003 ILD – 0,002 (ug/l)	Es ES	Serres (tomates, poivron, aubergine), vergers (agrumes).	Kumluca région, côte méditerranéenne l'Ouest de la ville d'Antalya, Turquie.	(Aneja et al., 2008)

Notes : **ILD**= Inférieures aux limites de détection. **Es**= Eau souterraine, **ES**= Eau de Surface. **ps** : poid sec. **Nd** : non détecté.

b) Origines possibles des pesticides non soupçonnés

Malgré le très grand nombre de SA déclarées comme en usage par les agriculteurs (Chapitre I partie II), 3 SA insecticides et 1 SA métabolite herbicide insoupçonnés n'ont pas été rapportés par enquête et ont été identifiés et quantifiés dans les sites étudiés, il s'agit, dans l'ordre, de l'azinphos-méthyl (Organophosphoré), du parathion méthyl (Organophosphoré), des métabolites p,p'-DDE (Organochloré) et déséthyl-atrazine (Triazine). Le déséthyl-atrazine et le parathion méthyl n'ont été détectés que sur un seul site chacun, celui de Sidi Okba et celui d'El-Ghrous respectivement ce qui prêche à être interprété comme un usage ou une contamination accidentels. Cependant, l'azinphos-méthyl et le p,p'-DDE ont été présents de façon systématique dans les 6 sites d'étude et sur les deux profondeurs ce qui pose plusieurs questionnements sur l'origine possible de ces SA inattendues sur des sites aussi distant les uns des autres. Aussi, même le sol sous serre canarienne supposé protégé par un film plastique a enregistré une concentration en SA renvoyant à une contamination plus au moins lointaine dans le temps.

La figure suivante (Fig.33) montre les principales hypothèses qui ont été émises et qui peuvent constituées une piste possible pour trouver les sources/origines locales ou non, présentes ou passées des SA non soupçonnées.

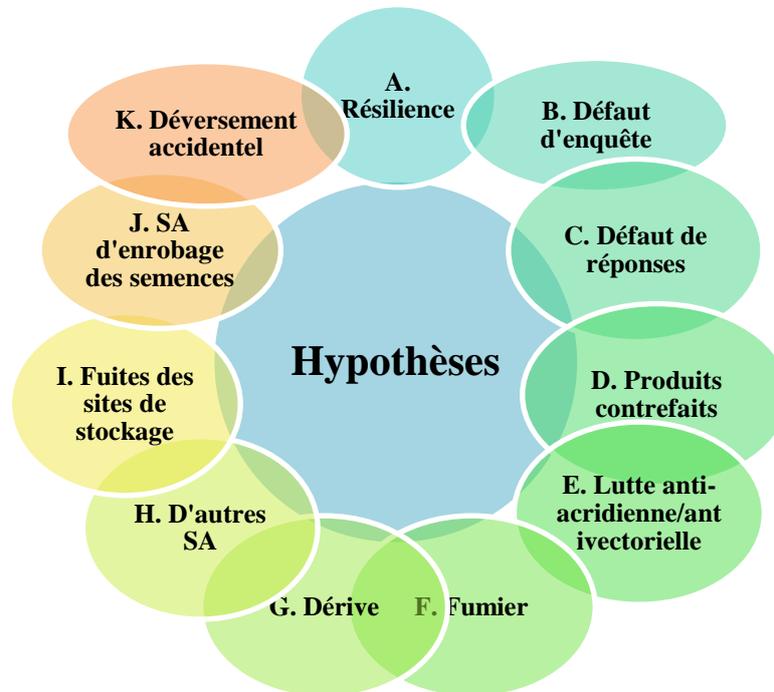


Figure 33 : Principales hypothèses des origines possibles des SA insoupçonnées.

Dans ce qui va suivre, seules quelques hypothèses (les plus probables à notre avis) vont être abordées comme le transport par le vent en provenance d'autres sites/d'autres régions, l'usage

autre qu'agricole (lutte anti-acridienne) de ces SA, le fait qu'elles rentrent dans la formulation d'autre SA et qu'elles en soient le produit de dégradation. Néanmoins, les autres hypothèses ne sont pas moins importantes et constituent des pistes de réflexion et d'investigation possibles à développer.

b.1 Hypothèses concernant les sources de L'azinphos-méthyl

Il n'y a que peu de données disponibles sur le comportement de l'azinphos-méthyl dans les sols à travers le monde (Oliver et al., 2003a). Oliver et al. (2003) ont trouvé dans leur étude que le % en CO (Carbone Organique) a été le principal facteur influant sur l'absorption de l'azinphos-méthyl par les sols sous deux types d'utilisations des terres.

Aucun agriculteur enquêté n'a rapporté l'usage de l'azinphos-méthyl et pourtant il a été détecté et quantifiées dans les six sites et sur les deux profondeurs, la concentration la moins importante a été détectée à El Ghrous (5,5 ug/kg poids sec) alors que la plus importante concentration est celle enregistrée à Doucen (51,1 ug/kg poids sec) allant donc de presque 3 fois à 25 fois la valeur limite analytique (2 ug/kg de poids sec).. Le site de Doucen (Zab Ouest) et celui d'Ain Naga (Zab Est) marquent les plus importantes concentrations.

Les concentrations de l'azinphos-méthyl dans les sols des 3 sites de l'Est étaient plus importantes en profondeur contrairement à celles des 3 sites de l'Ouest où elles sont plus importantes en surface (Fig.34). Le labour et le mouvement potentiel des molécules sous l'effet des flux hydriques d'infiltration sont susceptibles d'expliquer des concentrations plus importantes en surface pour des sols ayant subi un apport récent d'azinphosméthyl à la surface du sol.

Reinecke & Reinecke (2007) montrent dans leur étude dans et aux alentours d'un verger de prunes au Cap-Occidental en Afrique du Sud, que les concentrations d'azinphos-méthyl dans les zones non ciblées étaient constamment plus élevées que dans la zone cible (Tab.47). Ils concluent que l'azinphos méthyl a été surtout transporté par le vent vers les zones adjacentes notamment par dérive lors du traitement.

Les terres sous serres sont débâchées chaque année en fin de cycle cultural et changent d'emplacements tous les 3 ans (tunnel 400m²) en laissant place à une jachère ou à des cultures de plein champ. Cette disposition permettrait à des substances actives dont l'azinphos méthyl d'être déjà présentes sur les nouveaux sites d'installation des serres et

ou recueillir une contamination par dérive aérienne en provenance de cultures plein champs pour lesquelles nous n'avons pas ciblée l'étude.

- **Dérive : usage sur palmier dattier**

En Louisiane Selim et al. (1997) reportent que, l'azinphos-méthyl était largement utilisé au cours de ces trois dernières décennies à cause de son efficacité dans le contrôle du foreur de la canne à sucre (*Diatraea saccharalis*) (Selim, Bengtson, Southwick, Ricaud, & Schexnayder, 1997) d'où l'idée d'étudier son emploi dans le contrôle du foreur du tronc ou d'autres ravageurs qui s'attaquent au palmier dattier. Parmi les méthodes prophylactiques décrites par Soroker et al. (2005) qui sont déployées pour traiter le charançon rouge du palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*) il est conseillé, le long de la côte Nord de la Mer Morte (Soroker et al., 2005), de traiter l'arbre et les ramifications de tronc de Mai à Juillet deux fois par mois avec de l'azinphos-méthyl 0.2% ou avec du diazinon 0.3%. Au début des années 1980, le Malathion a été remplacé par l'azinphos-méthyl (poudre mouillable) qui était plus efficace contre les Nitidulidae. Malgré la réduction significative de résidus dans les fruits récoltés, l'utilisation de ce composé a été interdite conformément aux règlements publiés en 2002 par les Sociétés Commerciales européennes (Blumberg, 2008).

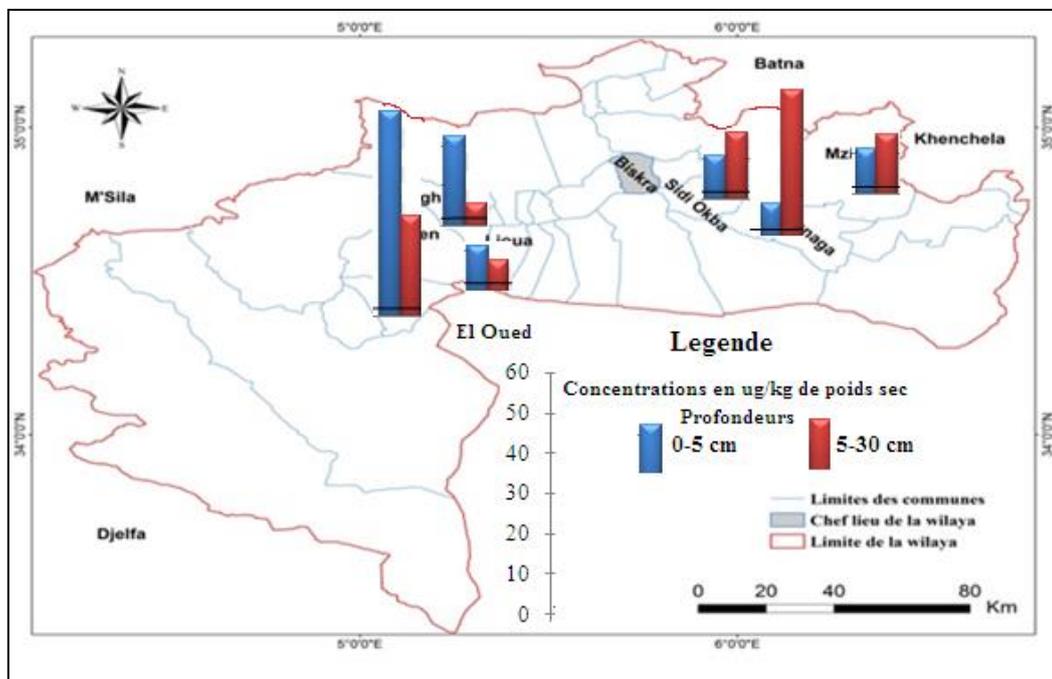


Figure 34 : Les concentrations de l'Azinphos-méthyl sur 2 profondeurs de sol des six sites d'étude.

- **Dérive : usage sur pommier**

Une étude conduite par Jenkins et al. (1983) sur le comportement environnemental de l'azinphos- méthyle dans un bassin versant du verger de pommiers du Michigan (USA) permet de recueillir des données sur la répartition initiale dans le verger et le mouvement vertical du pesticide sous l'influence des précipitations lors d'une saison (Jenkins, Zabik, Kon, & Goodmant, 1983).

En Algérie, un large éventail d'insecticides chimiques est autorisé à l'emploi contre le carpocapse¹⁰⁷ des pommes dont l'azinphos-méthyl utilisé contre ce dernier dans la wilaya de Batna (Brahim, (2010), D.S.A-Batna, 2013 in Abdesselam (2016)). Cette dernière est l'une des wilayas limitrophes (Nord-Est) de Biskra. Si on retient cette source comme origine possible de cette SA dans les sites échantillonnés ceci pourrait expliquer le fait que dans le Ziban Est plus proche donc de la région-source d'émission (Batna), l'azinphos-méthyl a été porté par dérive précocement et a eu donc le temps de migrer verticalement dans le sol d'où sa plus grande concentration dans la profondeur des 5-30 cm. Contrairement aux Ziban Ouest, dont les localités sont plus éloignées et où le dépôt de l'azinphos-méthyl se fait un peu plus tardivement et d'où la concentration dans les premiers 0-5 cm est la plus importante.

Staiff et al. (1975) étudient la persistance de l'azinphos-méthyle dans le sol sableux à terreau après une contamination du sol avec une formulation à 18,1% de concentré émulsifiable liquide. En un an, les concentrations de pesticides dans le sol, initialement très élevées, ont diminué entre un demi (dans la profondeur 0- 2,5 cm) et un tiers (dans la profondeur 2,5-7,5cm) des valeurs d'origine. A partir de la deuxième année et au-delà, le taux de disparition a été considérablement moins élevé, mais des quantités appréciables sont demeurées à la fois dans les niveaux de surface et de faible profondeur (2,5 à 7,5 cm) jusqu'à la fin de la troisième année. De la 4^e à la 8^{ème} année, les niveaux de résidus de pesticides dans la couche inférieure (2,5 - 7,5 cm) étaient constamment plus élevés que dans la couche supérieure (0-2,5 cm), ce qui consolide notre hypothèse que les apports d'azinphosmethyl dans les sites situés à l'Est (MZ, AN, SO) soient plus anciens. Au cours de la 8^{ème} année, les auteurs ont montré que l'azinphos- méthyle n'a pas pénétré au-delà du niveau de 30 cm de profondeur. Ils concluent l'impossibilité de la lixiviation dans ce type de sol au-delà de 30 cm même lorsqu'ils l'ont soumet à 8 ans de ressuyage incluant l'effet des chutes de neige abondantes et d'environ 25 cm de pluie par an.

¹⁰⁷ *Cydia pomonella*, insecte de l'ordre des lépidoptères, de la famille des tortricidés, dont la larve se développe à l'intérieur des fruits de pommes et de poires.

Staiff et al. (1975) concluent que la disparition de l'aziphosméthyl du sol se produit à un rythme plus lent que prévu, dans ce contexte. Ce point est relié à une dose appliquée sous forme de concentré émulsifiable. Avec des formulations plus diluées, la dégradation par les microorganismes du sol peut être importante, alors que lorsque la matière concentrée émulsionnable est appliquée, l'activité par des microorganismes est considérablement réduite. L'adsorption de l'aziphos-méthyle sur les particules du sol est pointée comme également importante dans la résilience du produit.

La dégradation plus rapide en surface peut être due à une plus grande exposition aux éléments de dégradation par des effets photochimiques et hydrolytiques et volatilisation accrue. Les mêmes auteurs rapportent que lorsqu'une concentration élevée d'aziphosméthyle est présente à la suite d'un déversement sur le sol, elle peut persister pendant une période relativement longue.

b.2 Hypothèses concernant les sources du p,p'-DDE

Contrairement à l'aziphosméthyl, les concentrations du p,p'-DDE sont plus uniformes entre profondeurs et entre sites. Les concentrations moyennes (0-30 cm) viennent dans cet ordre : 0,975 > 0,9 > 0,845 > 0,775 > 0,77 > 0,74 pour EG, MZ, D, SO, L, AN respectivement.

L'application directe du DDT technique ou du dicofol peut introduire le DDT dans l'environnement (Y. Wang et al., 2011). Le p,p'-DDE est un métabolite ou produit de transformation du DDT. Les produits de transformation des pesticides peuvent être présents à des niveaux plus élevés dans le sol que le pesticide-parent lui-même (Andreu & Pico, 2004). Dans son enquête sur les usages phytosanitaires Ayad-Mokhtari (2012) a noté l'usage actuel de produits interdits tels que le DDT (banie par l'OMS depuis 1972) et le Malathion dans la région d'Oran (Algérie).

- **Usage ancien : DDT utilisé en lutte anti-vectorielle et anti-acridienne**

L'usage du DDT en agriculture a été interdit dans la plupart des pays développés au cours des années 1970 et 1980 mais reste aujourd'hui encore toléré dans les pays tropicaux pour la lutte contre les épidémies telles que le paludisme et le typhus. À cette date, le paludisme occupait en Algérie la première place dans la liste des maladies transmissibles à déclaration obligatoire ; Au sud algérien 300 cas de paludisme ont été déclarés entre 1980 et 2007 (Hammadi et al., 2009). Aussi comme tous les pays africains, l'Algérie est touchée par

les attaques de criquets migrateurs (invasion acridienne) et bien que les SA organochlorés anciennement utilisées dans la lutte anti-acridienne tendent à être remplacées par d'autres (Pyréthroïdes de synthèse) moins persistant dans l'environnement, ça n'empêche le fait que leur produit de dégradation soient toujours présent (DT₅₀ importante).

- **Usage récent : DDT contenu dans le dicofol**

Bellamine et al. (2012) ont suggéré dans leur étude dans la zone rurale de Kenitra (Gharb du Maroc) et sur sol sous agriculture intensive, que la source du DDT pourrait être l'insecticide dicofol, qui produit du DDT comme métabolite. L'origine du p,p'-DDE que nous avons retrouvé peut être également le DDT contenu dans le dicofol qui est en tête du classement par les vendeurs et les agriculteurs côté usage acaricides faits similaire à ce que rapportent Qiu et al. (2005) qui avancent que la haute concentration en DDT dans l'air en dessus du lac Taihu Lake, un lac près de Shanghai, Chine, est du à l'usage du dicofol dans la région Nord du lac et est la principale source des mesures de DDT. Li et al. (2006) ont trouvé que l'impureté de DDT dans le dicofol peut être responsable de l'apport récent de DDT dans le sol dans la région de Pearl River Delta, au sud de la Chine. Il a été identifié comme un facteur contribuant à la contamination continue du DDT dans le sol et l'eau par Turgut et al. (2009) en Turquie. Le Dicofol – l'ingrédient actif étant un mélange d'environ 80% p,p'-dicofol et 20% o,p'-dicofol – est produit par hydroxylation du DDT en tant que concentré émulsifiable et formulation de poudre mouillable (Van de Plassche, Schwegle A.M.G.R., Rasenberg, & Schouten, 2002).

Selon Strandberg et al. (1998) in Benbakhta et al. (2014), le rapport des métabolites du DDT, p,p'-DDT/p,p'-DDE fournit un indice utile pour savoir si l'apport de DDT est récent ou ancien (historique). Une valeur <0,33 indique généralement une entrée âgée de cette SA. Dans cette étude, bien que le p,p'-DDT soit analysé, il n'a pas été détecté (annexe 19) ce qui suggère que le rapport p,p'-DDT/p,p'-DDE est <0,33 et que le DDT a subi une transformation totale en p,p'-DDE. La source de DDT est donc plutôt ancienne. Cependant ce calcul suppose une production initiale de DDT et non de dicofol.

b.3 Hypothèses concernant les sources du parathion-méthyl

Pour le méthyl parathion, Ayad-Mokhtari (2012) rapporte que cette SA est l'une des plus utilisées en arboriculture fruitière (oliviers, agrumes, arbres fruitiers à pépins et à noyaux) et en cultures maraîchères au niveau de la wilaya d'Oran. Le méthyl parathion est parmi les insecticide organophosphoré très utilisé aussi dans la lutte anti-acridienne. Durant les

campagnes de contrôle des acridiens de 2004-2005, plusieurs tonnes de pesticides (organophosphorés, carbamates, Pyrethroides) ont été utilisé dans les régions infestées par le criquet, dans les régions du sud et du Tell (Bouziani, 2007).

3.1.3.2 Confrontation données analytiques et données d'enquête

Selon le tableau 48, les formulations des produits contenant les SA détectées sont essentiellement des suspensions concentrées (SC), des concentrés émulsionnables (EC), des poudres mouillables (WP) et des concentrés solubles.

On peut établir la relation usage-détection pour certaines SA, tel le difénoconazole, plus rapporté par les agriculteurs des sites situés à l'Est que ceux de l'Ouest des Ziban.

Les détections sur sol des sites échantillonnés bien que les usages non pas été mentionnés, pourraient résulté des apports anciens (historiques) ou à cause de dépôt d'autre sites d'application apporté par dérive lorsque les sols sont mis à nu et les serres débâchées.

Le peu de détection sur le site de M'Ziraa malgré le nombre important de produits déclarés peut être attribué à la couverture au sol (paillage plastique) et au nombre important de serre canariennes qui occupent le sol plus longtemps (15- 20 ans) que les serres tunnels.

Tableau 48 : Confrontation des résultats analytiques (détection : première ligne pour chaque SA) (en ug/kg de poids sec) et de terrain (enquête).

Substances active : Spécialités commerciales correspondantes.	Formulation	Type	M'Ziraa-sol		Ain Naga-sol		Sidi Okba-sol		El Ghrous-sol		Doucen-sol		Lioua-sol	
			Profondeurs (cm)											
			0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30	0-5	5-30
Chlorothalonil : Bravo FolioGold Priori-Opti Total	SC SC SC	F	-	-	1,1	-	1,5	-	2,0	-	3,3	-	-	2,0
			1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Difenoconazole : Amistar Score Total	SC EC	F	3,95	3,52	8,65	8,52	4,47	7,74	-	-	-	2,87	-	-
			2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			-	5	2	2	2	2	-	-	-	-		
Hexaconazole : Anvil Hexar Hexavil Total	SC EC SC	F	-	-	-	-	3,33	2,03	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
			-	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
			-	-	-	-	-	-	2	-	-	-		
pp'-DDE (Dicofol) : Rivafof Dicofor Total	EC EC	I	0,89	0,91	0,75	0,73	0,76	0,79	0,98	0,97	0,85	0,84	0,78	0,76
			2*	1	1	1	1*	-	1*	-				
			-	-	-	-	1	-	-	-				
Carbendazime/Thiophanatemethyl : Majestine Pelt Vapcotop Methylthiophanate Total	WP SC WP WP	F	-	-	-	-	22	10	-	-	-	-	-	-
			2	2*	-	-	-	-	-	-	-	-		
			1	-	2*	-	-	1	-	1	-	-		
			-	2*	-	-	-	-	-	-	-	2		
			2	-	1	-	-	1	-	1	-	-		
Imidaclopride : Confidor Comodor Imidor Commando Imiguard Total	WG SL SL SL SL	I	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-
			1	-	-	-	1	-	-	-	-			
			2	-	-	-	-	-	-	-	-			
			2	1*	-	-	-	3	-	-	-			
			1	1	-	-	-	-	-	-	-			
			-	1*	-	-	-	-	-	-	-			
6	3	1	3	3	3	-	-							

*Repport d'usage dans les exploitations échantillonnées.

3.2 Niveau de contamination des eaux en milieu serricole par les pesticides

3.2.3 Matériels et méthodes

Il s'agit des même échantillons « eau » prélevés en double en janvier 2014 lesquels ont subi des analyses physico-chimiques.

3.2.1.1 Analyses des pesticides

Les échantillons d'eau prélevés lors de la campagne de Janvier 2014 ont été stocké sous congélation à -18°C et ont été analysés selon la méthode interne spécifique au LABOCEA, laboratoire public situé à Plouzané (Bretagne, France), unité des polluants organiques pendant le mois d'Octobre 2014.

3.2.3.1.1 Analyse en multi-résidus par chromatographie liquide et gazeuse

Les progrès des techniques d'analyses ont permis la transition entre une approche par famille chimique (organochlorés, triazines, phénylurées...) à une approche « multi-résidus » mettant en œuvre un nombre réduit de techniques analytiques (Briand 2009, Kouzayha et al., 2012). Ces méthodes multi-résidus permettent la diversité des substances recherchées avec des concentrations à l'état de trace ou ultra-trace avec une optimisation de toutes les étapes de préparation, extraction, concentration, purification, séparation (GC ou LC), détection (ex.MS) et quantification (Vulliet et al., 2010).

3.2.3.1.2 Préparation des échantillons « Eau »

La bonne préparation des échantillons est une condition primordiale pour une analyse et résultats fiables. Cette préparation comprend l'extraction, la purification (Clean-up) et la concentration par évaporation.

3.2.3.1.2.1 Extraction Liquide Liquide (LLE)

Pour cette étape on prend 500 ml d'eau d'échantillon qu'on a mis dans des bouteilles ambrés (d'un volume d'1L) auxquels on a ajouter 50 µl des **EIM** (Étalon Interne Multi-résidus) suivi par une agitation et une décantation pendant 5 mn chacune.

- Pour le passage en chromatographie liquide (LC)

Pour la LC, on a prélevé directement dans des vials transparents d'un volume de 20ml, seulement 10 ml d'eau après extraction auxquelles on a ajouté 20 µl d'acide formique qu'on a congelé jusqu'au moment de l'analyse. Il est à signaler que ces vials étaient

fermer hermétiquement grâce à un pistolet automatique qui vice chaque bouchon par un mouvement rotatif

- **Pour le passage en chromatographie gazeuse (GC)**

Pour la chromatographie gazeuse l'échantillon est extrait en trois fois, on revient au reste de l'échantillon, nous avons donc nos 500 ml d'eau d'échantillon (moins les 10 ml qu'on a pris pour la LC) dans les bouteilles ambrés d'1L. On procède à un ajout de 25 ml de dichlorométhane suivi d'une agitation pendant 20 mn pour une première extraction de la phase organique grâce à des pipettes (1/bouteille) qu'on gardera dedans jusqu'à la troisième et dernière extraction. L'extrait est mis dans des flacons de 250 ml. Mettre ces les flacons à côté ou derrière chaque bouteille ambrée correspondante et revenir à ces dernières pour réaliser une deuxième extraction, il faudrait d'abord leur ajouter 15 ml d'acetate ethyle, 10 ml de dichlorométhane, 250 µl d'acide sulfurique (au 1/2) et 500 µl d'acide acetique glacial puis une agitation pendant 20 mn à la suite de laquelle on re-prélève la phase organique dans les mêmes flacons (250 ml) grâce aux même pipettes. Pour la troisième extraction, on revient encore une fois aux grandes bouteilles ambrées et on ajoute cette fois-ci que 5 ml de dichlorométhane; suivi d'une agitation pendant 5 mn et on re-prélève encore une fois la phase organique qui se formera dans les bouteilles ambrées qu'on récupérera dans les mêmes flacons de 250 ml. Après ces trois extractions si le temps le permet, on passe à la purification sinon on congèle les extraits obtenus jusqu'au lendemain.

3.2.3.1.2.2 Purification ou « Clean up » par SPE

On reprend les flacons de 250 ml qui contiennent les extraits obtenus précédemment. Il faut signaler que même misent au congélateur, seule l'eau congèle mais pas la phase organique. La purification de l'extrait se fait sur du florisil et l'élution par du méthanol comme suit : Dans des colonnes de purification en verre simple, on introduit un peu de laine de verre qu'on entrainera en bout de colonne (grâce à une tige mince en verre ou en métal) puis on les remplit avec ce qui correspond à 6 cm de Florisil puis conditionner chaque colonne/florisil avec 15 ml de Méthanol (MeOH) qu'on récupère dans des flacons et qu'on jette dans une bouteille poubelle munit d'un entonnoir placée à l'arrière sous la Sorbonne. Après ça, verser notre solution d'extrait d'échantillon sur le florisil puis et au fur et à mesure que la solution d'échantillon progresse dans la colonne de florisil et pour que ce dernier ne sèche pas on ajoute 10 ml de Méthanol. Il faut bien surveiller les colonnes pour qu'elles ne sèchent pas. La

solution est ainsi récupérée dans des cônes transparents à cellule de 250 μ l posés sur des supports plastiques en bas des colonnes. Ces cônes portent le même n° d'échantillon (Fig.35).

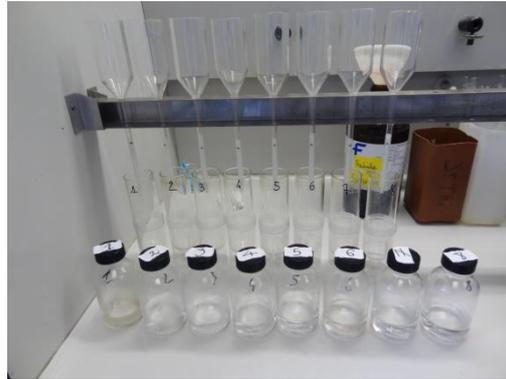


Figure 35 : Colonnes de purification pour échantillons d'eau.

3.2.3.1.2.3 Concentration

Même principe que pour les échantillons de sol.

3.2.3.1.3 Analyse proprement dite

L'analyse se fait par LC directement par injection de 1 ml d'eau en SPE/TQD, pour d'autres molécules elle se fait par GC/MS ou par GC/MS-MS. Le rendement est corrigé par l'utilisation des nombreux étalons internes ajoutés juste avant l'extraction.

3.2.4 Résultats et discussion

Seul le point d'eau échantillonné à Oued El Biraz appelé encore Oued El Abiod (Ould Baba Sy, 2005) a présenté des traces de SA. Selon l'étude mentionnée, cet Oued draine une superficie de 1100 km², pour une longueur de 156 km, son origine se situe vers 1900 m d'altitude et il alimente le Chott Melrhir. Sa pente est, par suite, assez forte. Parmi les 24 substances repérées en enquêtes (Tab.49) pour lesquelles il y a eu une mesure en LC, 2 SA ont des teneurs > au LQ (Limite de quantification) et 1 substance mesurée par GC était > LQ n'était pas cependant annoncée par les enquêtes. 25 SA repérées en enquêtes sont non mesurées dont 10 jugées importantes (limite de la méthode analytique). Enfin, 195 substances (étalons internes mixtes) mesurées inférieures au LQ et non repérées par enquêtes.

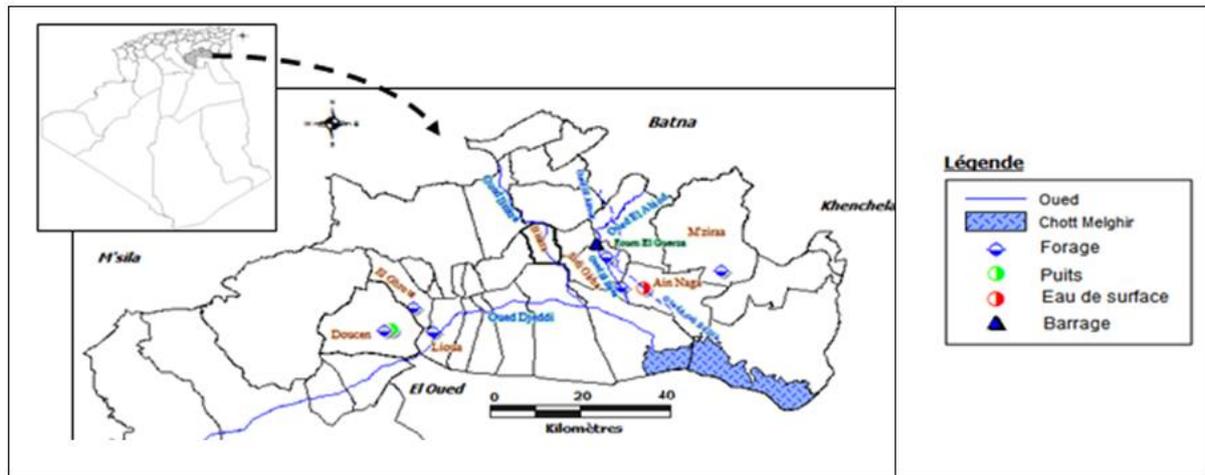


Figure 36 : Situation des points d'échantillonnage des eaux par rapport aux principaux Oueds de Biskra.

Tableau 49: Classement par importance des substances actives analysées et non analysées dans la matrice « Eau ». L'importance est appréciée par le rang relatif des résultats d'enquêtes et des témoignages. (Important = rang <10 et témoignages \geq 50%) et selon littérature.

SA Analysées	Importantes	azoxystrobine ^{LC} , carbendazime ^{LC} , chlorothalonil ^{GC} , cyperméthrine ^{GC} , endosulfan ^{GC} , hexaconazole ^{GC} , imidaclopride ^{LC} , méthomyl ^{LC} , méthylthiophanate ^{LC} , propamocarbe ^{LC} , triadiménoI ^{GC} .
	Moins importantes	bromuconazole ^{LC+GC} , chlorpyriphos-éthyl ^{GC} , cymoxanil ^{LC} , cyprodinil ^{LC} , deltamethrine ^{GC} , diazinon ^{GC} , difénoconazole ^{GC} , ethoprofos/ethoprofos ^{GC} , folpet(Folpel) ^{GC} , iprodione ^{GC} , lambda-Cyhalothrine ^{GC} , métalaxyl ^{LC} , thiaméthoxam ^{LC} .
SA Non analysées	Importantes	abamectine, acetamipride, amitraze, chlorantraniliprole, dicofol, emamectine-benzoate, hyméxazol, mancozèbe, penconazole, thiocyclam-hydrogène oxalate.
	Moins importantes	bifenthrine, buprofézine, chlorpyriphos-méthyl, diafenthiuron, fenpyroximate, fludioxonil, fosétyl aluminium, indoxacarbe, manèbe, métalaxyl-M, propargite, propinèbe, quinosol, spinosad, thiaclopride.
SA analysées	hors classement	pyraclostrobine ^{LC} , tebuconazole ^{LC} , trifloxystrobine ^{LC} , téfluthrine ^{GC} , cyproconazole ^{GC} , epoxyconazole ^{GC} , krésoxim-méthyl ^{GC} .

Analyser par Chromatographie : liquide (LC), gazeuse (GC)

3.2.4.1 Résultats en LC

Cette méthode a permis la détection et la quantification des deux SA fongicides rapportées par enquête et appartenant aux familles des Benzimidazoles et des Carbamates respectivement, il

s'agit du carbendazime et du propamocarb HCL (Tab.50). Il est à rappeler que le carbendazime était également présent dans les échantillons de sol de Sidi Okba (Tab.46) (non loin de Ain Naga) et que l'Oued traverse les deux communes où se localise ces deux sites. Le carbendazime (Majestin) et le Méthyl-thiophanate (Vapcotop, Pelt) donnant encore du carbendazime comme produit d'hydrolyse sont en tête de liste (1^{ère} et 2^{ème} position) par rapport au classement des ventes-fongicides et elles étaient rapportées surtout par les enquêtés de Sidi Okba et Ain Naga ce qui appuie et renforce le lien vente-usage-détection d'où une éventuelle contamination.

Tableau 50: Type et concentrations des pesticides détectés (par LC) dans l'eau de surface.

Site (Od)	Substance Active	Type	Concentrations ($\mu\text{g l}^{-1}$)	LQ ($\mu\text{g l}^{-1}$)	UE Limite** ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Enquête 2013-2014
Ain Naga	carbendazime	Fongicide	0,058	< 0,02	0,1	Présence
	propamocarb HCl	Fongicide	0,047	< 0,02	0,1	Présence

LQ : Limite de Quantification, ****** limite établie pour les concentrations individuelles dans l'eau potable conformément à la législation de l'UE (2006/118 / CE)

3.2.4.2 Résultats d'analyse en GC/MS (mode Sim et Scan)

3.2.4.2.1 Mode SIM

Ce mode a permis la détection d'une molécule hydrocarbure aromatique polycyclique, le naphthalène (Tab.51), cette même substance était détectée, comme précédemment cité dans tous les sols échantillonnés et avec les plus importantes concentrations et plus encore dans les autres sites que celui de Ain Naga. Ce qui nous amène à penser que si une eau de surface existait ou même un ruissellement, drainage ou un écoulement quelconque ils seraient riche en HAP et il posera un grand problème de contamination et pollution par ces hydrocarbures.

Tableau 51: Concentration du naphthalène détecté (par GC) dans l'eau de surface.

Site (Od)	Substance Active	Type	Concentration ($\mu\text{g l}^{-1}$)	LQ ($\mu\text{g l}^{-1}$)	UE Limite** ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Enquête 2013-2014	SEQ-Eau ($\mu\text{g l}^{-1}$)
Ain Naga	naphthalène	HAP*	0,089	< 0,05	0,1	Absence	1,9

*Hydrocarbure Aromatique Polycyclique, **LQ** : Limite de Quantification, ****** limite établie pour les concentrations individuelles dans l'eau potable conformément à la législation de l'UE (2006/118 / CE). **SEQ-Eau** : norme selon le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003).

Les concentrations du carbendazime ($0,058 \mu\text{g l}^{-1}$) et du propamocarb ($0,047 \mu\text{g l}^{-1}$) étaient en dessous des normes de $0,1 \mu\text{g l}^{-1}$ établies pour l'eau potable (il n'existe pas de normes-pesticides pour l'eau d'irrigation) (Tab.50). Le naphtalène avec une concentration de $0,089 \mu\text{g l}^{-1}$ approchait cette norme mais qui était au-deçà de la concentration limite établie par la SEQ-Eau égale à $1,9 \mu\text{g l}^{-1}$ (Tab.51).

Alors que le propamocarb est autorisé, Le naphtalène n'est pas applicable dans tous les pays européens. Seuls 6 pays autorisent l'usage de la carbendazime (selon la PPDB). A l'heure actuelle, les deux fongicides sont toujours autorisés en Algérie. Cependant, la concentration en carbendazime ($0,058 \mu\text{g l}^{-1}$) est 8 fois plus importante que la norme des $0,007 \mu\text{g l}^{-1}$ établie par le système français d'évaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisée par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (MEDD & Agence de l'eau, 2003). Cette concentration est du même ordre, mais au dessus de la concentration de carbendazime ($0,046 \mu\text{g l}^{-1}$) détecté par Khaled-Khodja (2016) dans l'eau de la station d'Oued Bouhamra¹⁰⁸(ou Oued Boujemaâ) (Golfe d'Annaba, Nord-Est Algérien) prélevée en août 2010 (Tab.52).

La concentration en propamocarb HCl dans la présente étude ($0,047 \mu\text{g l}^{-1}$) est supérieure aux concentrations de $0,008 \mu\text{g l}^{-1}$, $0,016 \mu\text{g l}^{-1}$ (Août, 2010) et $0,020 \mu\text{g l}^{-1}$ (Mai, 2010) qui ont été également détectées par Khaled-Khodja (2016) dans les stations de l'Oued Seybouse¹⁰⁹, l'Oued Bouhamra et d'Asmidal¹¹⁰ annexe, respectivement (Tab.52).

La carbendazime, méthyle 2-benzimidazole carbamate, fongicide systémique de formule chimique($\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2$) est considéré comme un polluant des ressources en eau (Boudina, Baaliouamer, Emmelin, & Chovelon, 2011). Il est utilisé dans de nombreux pays pour contrôler un large éventail de maladies fongiques dans les cultures (Chen et Zhou 2009 in Salghi et al., 2013), il est appliqué à plusieurs reprises, au cours d'une saison de croissance (Yunlong et al., 2009). Le propamocarb HCl (propyl 3-(diméthylamino) propylcarbamate hydrochloride) de formule chimique ($\text{C}_9\text{H}_{21}\text{ClN}_2\text{O}_2$) est un pesticide utilisé sur une grande variété de légumes et de fruits sous serre (Tomlin, 2003 in Yurtkuran & Saygi, 2013). Le naphtalène (HAP) (C_{10}H_8) est un insecticide et fongicide (Remillon, 2003 in Soleille, 2006). Cependant aucun des agriculteurs ou des vendeurs n'avait mentionné le nom du naphtalène ni

¹⁰⁸ Un Oued long de de 15 km, qui collecte les eaux usées de la plaine Ouest de la ville d'Annaba avant d'aboutir au littoral, il reçoit principalement les effluents de trois stations de relevage de nombreux raccordements d'eaux usées et des effluents mineurs du complexe Fertil (Asmidal). Il constitue aussi, le dernier affluent de l'oued Seybouse.

¹⁰⁹ Oued situé à l'extrémité Nord orientale de l'Algérie, il représente le second oued du pays, en égard à son vaste bassin versant (6471 km^2) et de sa longueur (240 km). Il prend sa source près de la région de Guelma (région qui produit beaucoup de tomate industrielle et des céréales). Il s'étend des hautes plaines, aux massifs telliens, jusqu'à la plaine littorale d'Annaba en aval, où il rejoint la Méditerranée

¹¹⁰ Établissement dont la vocation principale est la fabrication de l'ammoniac, des engrais phosphatés, des engrais azotés, des engrais à base d'ammonitrate, des engrais complexes, etc.

d'un produit pouvant en contenir, la question de la source se pose. Selon Donohue (2003) in Soleille (2006) le transport routier, la combustion du bois et de carburant fossiles, la fumée de tabac émettent également du naphthalène.

La période d'échantillonnage (Janvier) qui survient après 4 à 5 mois de culture sous serre (Septembre-Janvier) côté Zab Est pendant lesquels les maladies cryptogamiques prospèrent le plus, est une circonstance favorisant pour détecter des fongicides d'origine agricole dans les eaux de surface. Le carbendazime était non seulement en tête des produits fongicides selon classement des vendeurs des Ziban (Est et Ouest) mais aussi indiqué par le serriste enquêté d'AN, commune par où passe OB. Le méthylthiophanate qui donne du carbendazime après hydrolyse et qui lui succède côté vente, est non seulement mentionné par les enquêtés de AN mais l'est aussi par ceux de SO, l'autre commune par où passe l'Oued. Dans le cas de la carbendazime, les usages non agricoles dans les produits siliconés d'étanchéification jouent un rôle dominant au niveau des apports dans les eaux.

Le propamocarbe était classé en dernière et avant dernière position pour les vendeurs du ZE et ZO respectivement (Tab.12). Kreuger et al. (2010) rapportent que, dans les six domaines de leur étude, deux fongicides : boscalid et propamocarbe ont été les seules substances trouvées (Tab.52). Le propamocarbe était également le seul fongicide détecté dans l'eau de surface (lac) dans les travaux de Yurtkuran & Saygi, (2013).

Tableau 52: Exemples de la Littérature de détections des 2 molécules fongicides (carbendazime et propamocarb HCl) dans les eaux de surface et/ou souterraine sous différentes utilisations des terres.

SA	Concentration ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Région d'étude, Pays	Utilisation des terres	Références	SEQ-Eau ($\mu\text{g l}^{-1}$)
Carben-dazime	0,058 (Janvier 2014)	Oued Biraz (Biskra, Sud-Est de l'Algérie)	Serriculture , CPC, Céréales, palmiers dattiers	Présente étude ES	0.007
	0,025 (Octobre 2009) - 0,007 (Mai 2010) - 0,046 (Août 2010). 0,005 (Mai 2010) – 0,024 (Août 2010)	Station de l'Oued Bouhamra Station de l'Oued Seybouse (Golfe d'Annaba, Nord-Est de l'Algérie)	Céréaliculture, maraîchage, arboriculture (Debieche, 2002)	(Khaled-Khodja, 2016) ES	
	0,697	Fleuve Llobregat (Catalogne, Espagne)	Vignoble, (Oct-Nov)	(Masiá et al., 2015) ES	
	Min : 0,2 Max : 4,5	Fleuve Traigue'n (Chili)	Céréales, foresterie, (Aût -Oct)	(Palma et al., 2004)ES	
	0,35 Fréquence 81,82%	Province de Raguse (Sud-Est de la Sicile)	CPC et Serriculture Tomate, aubergine, poivron et courgette (Fév- Aût)	(Licciardello et al., 2011) Es (5 Puits)	
Propamoc-arbHCl	4,5	Skåne (Nord et Nord Ouest de la Suède)	CPC et Serriculture Ornemental, tomate, concombre. (Jun – Oct)	(Kreuger et al., 2010)ES	-
	0,047 (Janvier 2014)	Oued Biraz (Ain Naga, Biskra, Sud-Est de l'Algérie)	Serriculture , CPC, Céréales, palmiers dattiers	Présente étude ES	
	0,020 (Mai 2010) 0,016 (Août 2010) 0,008 (Août 2010)	Station d'Asmidal annexe Station de l'Oued Bouhamra Station de l'Oued Seybouse (Golfe d'Annaba, Nord-Est de l'Algérie)	Céréaliculture, maraîchage, arboriculture (Debieche, 2002)	(Khaled-Khodja, 2016) ES	

Notes : ES : Eau de Surface, Es : Eau souterraine, CPC : Cultures de plein champ. SEQ-Eau : norme selon le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003).

Nous avons remarqué que les trois SA, viennent dans un ordre décroissant en importance de volatilité et de persistance : naphthalène>carbendazime> propamocarb, ce qui s'accorde avec leurs teneurs trouvées par analyses, respectivement 0,089, 0,058 et 0,047 $\mu\text{g l}^{-1}$.

Le naphthalène est le composé le plus volatile des HAP (Martinez et al., 2004). D'après Donohue (2003) in Soleille (2006) les rejets de naphthalène dans l'environnement ont lieu à plus de 90 % vers l'atmosphère, environ 5 % des rejets ont lieu vers l'eau et à peu près 2,7 % vers les sols. Une partie de ces rejets atmosphériques se retrouve dans l'eau et surtout sur les sols. Selon Arias-Estévez et al. (2008) le sol est un élément clé pour les SA des pesticides retrouvées dans les eaux souterraines et de surface. Katsoulas et al. (2012) rapportent qu'un sol sous serre était l'élément non-cible le plus exposé à recevoir environ 15% de la quantité totale de pesticide appliquée.

La solubilité du carbendazime est faible et il est dit modérément persistant (annexe 21). Il peut dans certains cas persister dans le sol plus de 10 semaines au champ et 9 mois en laboratoire (Solel et al., 1979). De leur côté, Vlcek et Pohanka (2012) rapportent que le propamocarb est non persistant, et sa DT_{50} au champ est en éprouvette est de 10 à 30 jours, il est, cependant, hautement soluble dans l'eau et est stable à la photodégradation dans l'eau (Yurtkuran & Saygi, 2013).

De façon générale, les SA des pesticides atteignent le milieu aquatique par ruissellement direct, lessivage, l'élimination négligente des conteneurs vides, l'équipement de lavage et / ou déversements accidentels, (Konstantinou et al., 2006; Brock et al., 2006) la dérive de pulvérisation et le drainage (Yurtkuran and Saygi, 2013; Papadakis et al., 2015), l'érosion et les retombées atmosphériques (Gilliom, 2007). Nous soutenons d'autres part les travaux de Verro et al. (2009) qui ont montré que les insecticides semblent présenter le plus haut niveau de risque pour l'écosystème à partir de la dérive, les fongicides présentent ce risque par ruissellement pendant des périodes considérables au sein de la saison de croissance. L'eau d'irrigation ne permettrait pas un transport des micropolluants vers les eaux superficielles si le « Goutte à goutte » est utilisé. Selon Solel et al. (1979), la diffusion du carbendazime appliqué par goutte à goutte est limitée à la couche 0 à 10 cm autour du goutteur dans le cas d'un verger de citron.

Les cultures sous serres, occupent ici le même emplacement pendant une période allant de 1 à 3 ans et sont ensuite déplacées. Leur emplacement est alors dédié aux CPC (céréales, maraîchage) ou laissées en courte-jachère. D'une part, il est possible que les sols dédiés aux

CPC soient l'objet du ruissellement contaminant, d'autre part, lors de la période de production de la serre, la bâche ou la couverture plastique du squelette de la serre adsorbe une certaine quantité des pesticides appliquée ; dans son étude Katsoulas et al. (2012) ont trouvé qu'approximativement 10% d'une application de pyriméthanil (une SA fongicide) a été déposé sur les parois et le toit de la serre. Le support plastique est réutilisé jusqu'à trois années successives et le sens intérieur/extérieur est fréquemment inversé. Des pluies sur cette surface contaminée, pourraient générer, comme le rapporte Lamprea-Maldonado, (2009) un flux de ruissellement contaminants des surfaces imperméables préalablement contaminées, vers les eaux superficielles. Pendant la période d'échantillonnage (Janvier 2014), le cumul des précipitations à la wilaya de Biskra, selon l'ONM, (2014) était de 9 mm, ces pluies n'auraient peu ou pas permis un ruissellement. Ces considérations semblent montrer que l'hypothèse d'un ruissellement direct est improbable.

Palma et al. (2004) (Tab.52) rapportent la présence de carbendazime dans de l'eau de surface (1,2 à 0,4 $\mu\text{g l}^{-1}$), de manière inattendue, car il n'y avait ni pluie ni application de pesticide. Cette étude conclue que la présence de la SA doit être expliquée par l'accumulation dans les sédiments et la persistance. Les agriculteurs irriguent avec une eau chargée en sable les cultures situées en rives de l'Oued, il est possible que le drainage du surplus d'irrigation contribue à approvisionner l'Oued en eau et/ou participe à l'érosion et au ressuyage des surfaces parcourues. Par ailleurs, le lit de l'Oued est utilisé comme décharge où l'on peut retrouver des emballages de PPS vides et des morceaux de couvertures plastiques anciennes. Enfin, il est possible que certains serristes vidangent des résidus de PPS après traitement ou bien de l'eau de rinçage des citernes dédiées à cet usage près ou dans le lit de Oued, malgré des indications sans ambiguïtés des autorités.

Même si ces sources de contamination locales sont probables, une contamination plus lointaine est possible. Des fuites du barrage de Foum El Guerza alimentent l'Oued(Toumi et Remini , 2004). Hafiane et al. (2013) rapportent qu'après le barrage, l'Oued El Abiod devenant Oued Biraz traverse les palmeraies de Sidi Okba et Ain Naga puis se déverse dans l'Oued Djeddi avant d'arriver au Chott Melghir (Fig.36). La pollution des eaux peut provenir des palmeraies et de plusieurs sites d'exploitations serricoles.

Le trafic automobile semble être la source de contamination la plus plausible pour le naphtalène vu la position du point d'échantillonnage à proximité d'un important axe routier (Fig.37).

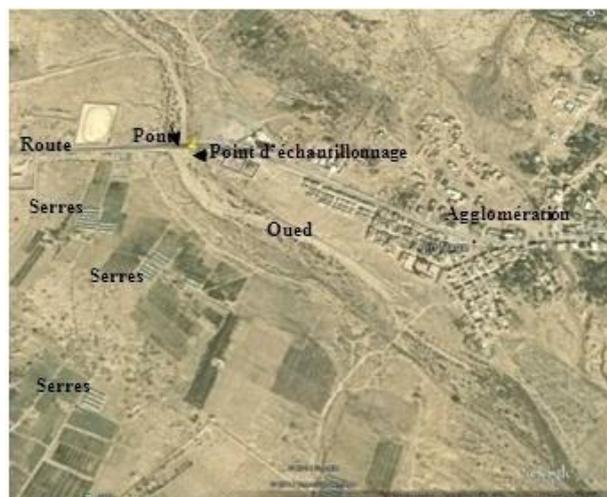


Figure 37: Localisation du point d'échantillonnage eau de surface (Oued) par rapport à l'axe routier, à l'agglomération et aux serres.

3.2.4.2.2 Mode Scan

L'opération de scan produit des chromatogrammes pour le blanc et des 8 échantillons d'eau (Fig.38). La plupart des pics observés correspondent à des artefacts¹¹¹. Pour MZ_{Fg} comme pour SO_{Fg} D_{Pt} , et. AN_{Fg} , Le pic à 19,778min a été identifié comme étant de la 3,3,6,8-tétraméthyl-1-tétralone¹¹² (CAS n°005409-55-2). Sa concentration est estimée à 0,23 $\mu\text{g/l}$. Pour AN_{Oa} , le pic à 13,931min a été identifié comme étant de la triacétine¹¹³ (CAS n°102-76-1). Sa concentration est estimée à 0,59 $\mu\text{g/l}$. Le pic à 19,784min a été identifié comme étant de la 3,3,6,8-tétraméthyl-1-tétralone. Sa concentration est estimée à 2 $\mu\text{g/l}$. Le pic à 24,219min a été identifié comme étant du diisobutyl phtalate¹¹⁴ (DIBP) (CAS n°84-69-5). Sa concentration est estimée à 10 $\mu\text{g/l}$. Le pic à 29,452min a été identifié comme étant du bisphenol A¹¹⁵ (BPA) (CAS n°80-05-7). Sa concentration est estimée à 0,50 $\mu\text{g/l}$.

¹¹¹ Effet artificiel. Le terme désigne à l'origine un phénomène créé de toutes pièces par les conditions expérimentales, un effet indésirable, un parasite.

¹¹² Réactif/solvant analytique chimique de formule $C_{14}H_{18}O$ utilisé en chromatographie.

¹¹³ Un triester de glycérol et de l'acide acétique, Sa formule chimique est $C_9H_{14}O_6$, utilisée comme : additif alimentaire, adjuvant de carburant et agent plastifiant dans des mélanges polymères utilisés pour le pelliculage des comprimés. fait aussi partie des additifs utilisés dans le tabac traité pour cigarettes.

¹¹⁴ Un plastifiant sans odeur et présente une excellente stabilité à la chaleur et à la lumière, préparé par un procédé d'estérification d'isobutanol et d'anhydride phtalique. De formule chimique $C_{16}H_{22}O_4$.

¹¹⁵ Composé organique issu de la réaction entre deux équivalents de phénol et un équivalent d'acétone. C'est un perturbateur endocrinien. Très présent dans notre environnement. Le BPA était très utilisé pour la fabrication des biberons (interdits pour des raisons sanitaires au Canada et en France en 2010). Surtout utilisé comme monomère de résines époxyde et de polycarbonates.

A **EG_{Fg}** le pic à 37,209 min correspondant au *13-docosenamide*¹¹⁶ (Z) qui est également présent dans le blanc. À **DF_g** et **LF_g**, Les pics à 19,776 min et 19,777 min pour leurs deux chromatogrammes ont été identifiés comme étant de la *3,3,6,8-tétraméthyl-1-tetralone*. Sa concentration est estimée à 0,40 µg/l et 0,34 µg/l pour les deux échantillons respectivement.

Très peu de molécules ont pu être mises en évidence par chromatographie GC/MS en mode SCAN. La plupart des pics visibles sont les étalons internes et quelques artefacts chromatographiques. Dans l'échantillon d'eau de surface **ANod**, on trouve des traces de phtalates¹¹⁷ et de bisphénol A. La molécule 3,3,6,8-tétraméthyl-1-tetralone (CAS n°005409-55-2) a été trouvée dans quelques échantillons d'eau (Doucen, Lioua et Ain Naga).

Selon (Bono-Blay et al., 2012), les pesticides sont parmi les composés les plus étudiés dans les eaux souterraines, mais peu d'informations sont disponibles sur la présence de phtalates, d'alkylphénols et de bisphénol A. Ces composés sont utilisés dans les formulations de pesticides et représentent une famille émergente de contaminants en raison de leur présence généralisée dans l'environnement et de leurs propriétés perturbatrices du système endocrinien.

¹¹⁶ Sa formule chimique est C₂₂H₄₃NO, c'est l'amide de l'acide docosénoïque (acide érucique), Il a d'abord été identifié dans le liquide céphalo-rachidien des chats privés de sommeil. Il a également été détecté dans le liquide céphalo-rachidien des rats et des humains. Dans l'Union européenne, la teneur en acide érucique des huiles et graisses destinées à la consommation humaine ne peut dépasser 5 %.

¹¹⁷ Les phtalates sont un groupe de produits chimiques dérivés (sels ou esters) de l'acide phtalique. Produits à quelque 3 millions de tonnes par an dans le monde, les phtalates sont présents partout à des niveaux différents dans notre environnement quotidien. Plusieurs phtalates ont été classés dans la catégorie des substances présumées toxiques pour la reproduction humaine par l'Agence européenne des produits chimiques. Dans l'environnement, les phtalates sont biodégradables mais peuvent persister plus longtemps dans certains milieux comme le milieu aquatique.

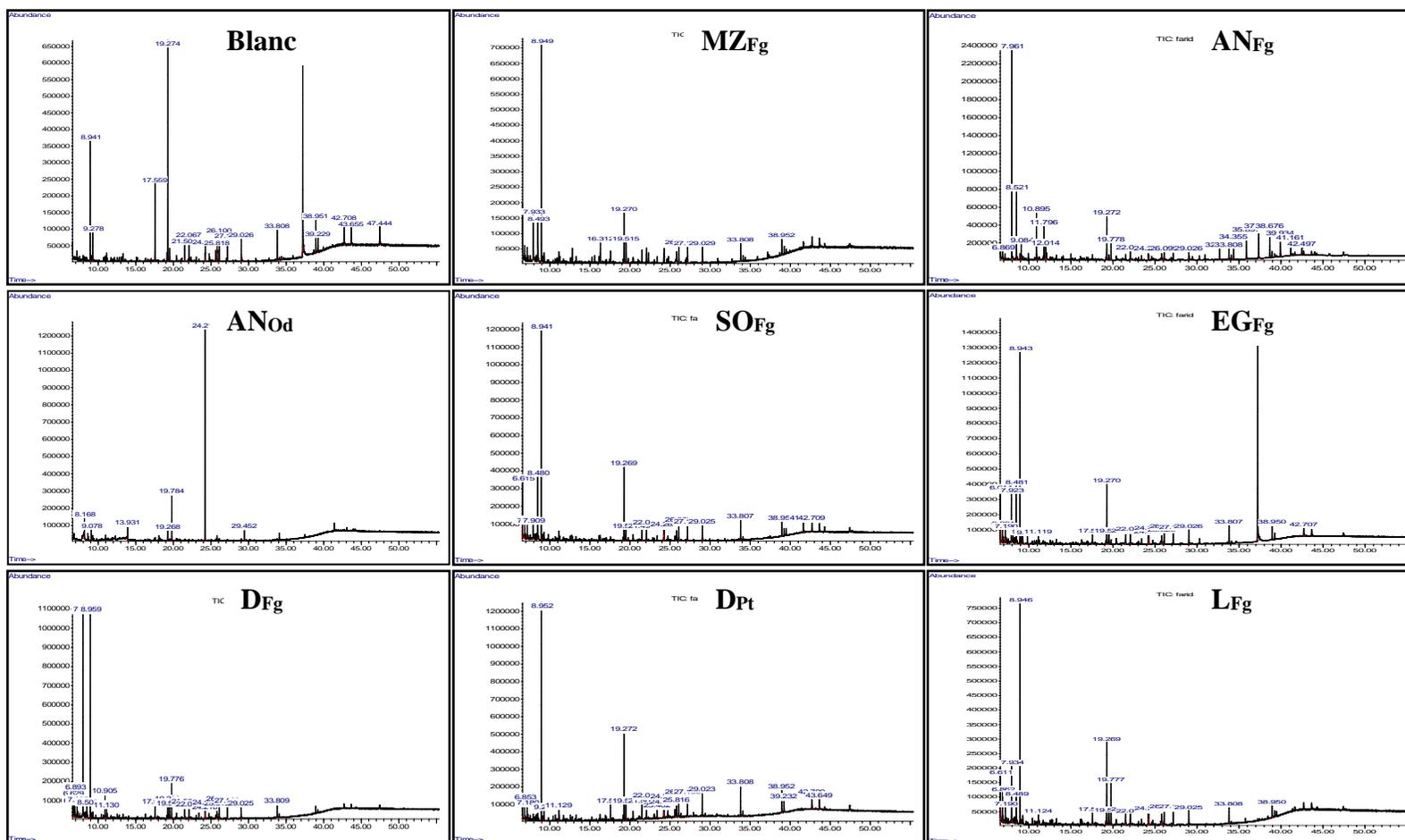


Figure 38 : Les chromatogrammes du blanc et des 8 échantillons d'eau en mode Scan.

Conclusions

Malgré le nombre important (SA = 71) déjà recensé par les différents moyens d'enquête et les différentes parties (sources) enquêtées nous n'avons pas cerné toutes les SA pouvant circuler et contaminer l'environnement agricole des Ziban. Les techniques multi-résidus nous indiquent que d'autres SA insoupçonnées sont présentes ce qui nous amène à remettre en question une démarche qui ne serait construite que sur les enquêtes par questionnaire.

Sol

Plusieurs substances actives et produits de dégradations insecticides, fongicides et même herbicides ont été analysés en multi-résidus et détectés surtout par chromatographie gazeuse en mode SIM et spectrométrie de masse, dans les sols agricoles échantillonnés sous serres, appartenant à plusieurs familles chimiques : Organophosphorés (azinphos-méthyl, parathion-méthyl), Organochlorés (p,p'-DDE) et triazines (DEA) pour les plus surprenantes du à leur persistance et à d'autres phénomènes plus complexes.

Les sources les plus probables pour l'azinphos-méthyl sont le transport par dérive d'autres régions (wilayas limitrophe : Batna) où cette dernière SA est utilisée en verger de pommier contre le Carpocapse. Deux sources possibles (d'origine non agricole et agricole respectivement) se présentent pour le p,p'-DDE, métabolite du DDT,

a) Il peut s'agir de la remanence d'un métabolite du DDT technique, ce dernier a été utilisé autrefois (avant 1980) dans la lutte antiacridienne mais aussi en usage agricole antérieurement (avant 1960). Ses résidus sont observés du fait de sa demi-vie importante,

b) Comme métabolite du Dicofol qui est une SA encore utilisée comme acaricide pour les cultures sous serres et reportée par les agriculteurs enquêtés. Le p,p'-DDE serait le témoin de cette utilisation actuelle répandue.

La détection du parathion-méthyl et du dééthylatrazine, métabolite de la Triazine est moins importante (un seul site et sur une seule profondeur chacun) semble indiquer un apport/déversement accidentel.

Pour les autres familles chimiques et SA correspondantes : Benzimidazoles (carbendazime), Chloronitrile (chlorothalonil), Triazoles (difénoconazole, hexaconazole), Néonicotinoïdes (imidaclopride) les détections s'accordent avec les déclarations d'usage fourni par les serriculteurs enquêtés.

Côté site de détection, les sols échantillonnés à Sidi Okba et Ain Naga côté Ziban Est et ceux d'El Ghrous et de Doucen côté Ziban Ouest présentent le plus important nombre de SA détectées. Ceci peut être relié au fait que ces sites là se trouvent situés en aval de barrage de Foum El Guerza (SO et AN) et de Oued (D).

Malgré le fait que l'on a vu que les déclarations d'usage de SA à M'Ziraa étaient les plus importantes, le sol échantillonné dans le site de cette commune a enregistré les moins importantes détections analytiques. Le recours au paillage plastique au sol nous semble être un élément déterminant de la protection du sol contre la contamination.

Les quelques mois écoulés entre échantillonnage et analyse suggèrent que les concentrations in situ ont été supérieures aux concentrations importantes en SA détectées, Aussi, le nombre restreint d'échantillons de sol analysés et le manque de répétitions représentent des limites dans notre étude.

En l'absence de normes nationales ou internationales standards de résidus de SA dans les sols (sauf pour quelques-unes et pour quelques pays), les concentrations enregistrées ne peuvent être jugées comme polluantes ou pas. Cependant la contamination est réelle dans la mesure où certaines substances semblent résider dans le sol au delà de cible de traitement (Profondeur et temps)

Un manque d'études de référence sur les détections de SA sous-serre nous a posé des difficultés 1) la matrice sol est moins ciblée par les études car elle n'est pas directement relié à la toxicité (chez l'homme en particulier) ou moins que la matrice eau, 2) Quand les auteurs ciblent le sol, ils s'intéressent surtout aux molécules organochlorés, toujours en raison de leurs toxicité, leur rémanence et le risque de leur diffusivité à l'eau.

Eau

La détection des résidus de carbendazime, propamocarb HCl et naphtalène dans l'eau de surface des Ziban Est dans un milieu agricole à vocation serricole a été signalée pour la première fois dans cette étude. Les concentrations, en dessous des normes internationales établies pour l'eau potable, doivent être considérées comme indices d'une contamination plus importante. Les eaux souterraines destinées à l'irrigation présentaient des teneurs inférieures au seuil de détection des molécules pesticides analysées. Il faut cependant rester très prudent pour deux raisons : Premièrement, le calendrier, la profondeur des prélèvements (une seule eau de d'aquifère superficiel échantillonnée), le faible nombre d'échantillons, ne permettent

pas d'estimer ce résultat comme définitif même pour les substances analysées. Dans la zone étudiée, il y avait en 2008 environ 6659 forages exploités (ANRH, 2008) dont 3906 à partir de la nappe du mio-pliocène et donc 6 forages présentent un échantillon extrêmement faible. Dans les études citées, même en situation de contamination avérée, les prévalences de contamination par les SA les plus fréquentes sont très fréquemment inférieures à 80%. Deuxièmement, les substances analysées ne recouvraient pas certaines substances actives citées par la bibliographie comme étant contaminantes de milieux très variées et en usage par les revendeurs et les exploitants.

Les enquêtes ont un rôle important dans la détermination des SA susceptibles de circuler dans l'environnement, cependant, leurs résultats doivent être jumelés et renforcés par des analyses en multi-résidus, pour ne pas passer à côté de résultats inattendus, comme le cas présent, la présence de teneurs de naphthalène. Enfin, il est probable qu'une campagne d'échantillonnage plus large de teneurs, comportant une gamme plus large de SA et mieux ciblée sur les puits serait utile. Une surveillance et un suivi ciblé de la qualité des eaux souterraines de Sidi Okba vis-à-vis de la contamination par les pesticides et autres micropolluants paraissent indispensables. Enfin, le mécanisme de contamination des eaux de surface du barrage de Fom El Guerza au Chott Melghir reste pour l'instant non élucidé.

Conclusion générale
&
Perspectives

Conclusion générale et perspectives

• Chronologie, importance des traitements et typologie des exploitations

L'examen attentif des différents résultats obtenus par des approches complémentaires et ciblées (enquêtes et analyses en laboratoire) met en exergue l'importance de la variable "étalement des traitements dans le temps". C'est durant les 10 à 11 mois que les produits phytosanitaires sont appliqués en routine. Il s'agit, de l'usage de plus de 100 spécialités commerciales, comprenant 71 substances actives appartenant à 34 familles chimiques. Ce sont généralement:

- 1- des fongicides à plus de 50%, utilisées contre le mildiou, l'oïdium, le botrytis et le fusarium appartenant principalement aux familles des Triazoles et des Carbamates ;
- 2- des insecticides (Néonicotinoïdes et Pyréthri-noïdes de synthèse) et acaricides (Avermectines) utilisés contre la mouche blanche, le puceron, la mineuse et les acariens.

Le nombre moyen de substances actives insecticides, fongicides et acaricides utilisé par cycle cultural est respectivement de 3, 2 et 1 ; le nombre moyen des traitements correspondants/cycle est respectivement de 10, 5 et 4. La quantité moyenne de matières actives employée par hectare sous système serricole calculée principalement pour la culture de tomate à partir des données d'enquête auprès d'agriculteurs et pour deux cycles par année est de 1,65 kg.

Trois types d'exploitations ont émergé par la classification ascendante hiérarchique (CAH) : Il s'agit des types C1« grandes serres (type M'Ziraa) », C2« petites serres » et C3« locataires ». Aussi, les agriculteurs enquêtés des communes d'El Ghrous et de Ain Naga sont les plus proches des déclarations moyennes concernant le nombre de SA et de traitements car elles sont classées 1^{ère} et la 2^{ème} en terme de superficie serricole au niveau de la wilaya de Biskra.

Les agriculteurs qui exploitent les serres de type C1 sont ceux qui ont le plus recours aux PPS, tant en nombre de traitements que de matières actives. Ce sont des propriétaires, des serres plus grandes, sur une superficie serricole plus importante, et des investissements plus importants. A contrario, ceux du type C3 sont ceux qui ont le moins recours aux PPS. Ce sont des locataires, ne pratiquant généralement qu'un cycle cultural/an; par contre, le nombre de substances actives utilisé est proche de la moyenne. Quant aux exploitations de type C2, le nombre de traitements est proche de la moyenne mais elles utilisent un nombre de substances

Conclusion générale et perspectives

actives moyen élevé que ceux des 2 autres types (petites serres, superficie serricole moins importante).

Le matériel de traitement constitue une préoccupation importante. Tous les enquêtés possèdent des pulvérisateurs à dos mais préfèrent utilisés un tuyau d'arrosage. Cela pose un problème de maîtrise des doses d'apport, d'efficacité des traitements, mais aussi d'exposition des applicateurs.

Toutes les pratiques agricoles en milieux serricoles pourraient influencer sur le devenir des pesticides dans l'environnement: travail du sol, fertilisation (surtout organique), irrigation mais surtout les usages (quantité, type, formulation) et les pratiques phytosanitaires (fréquence, mélanges, application ...). D'un autre côté, la serre est un milieu confiné qui peut favoriser la volatilisation des substances actives qui peuvent à nouveau se redéposer ; Des molécules adsorbées sur le plastique peuvent être relarguées par l'humidité qui règne à l'intérieur de la serre. Cependant, nos investigations ne reposent pas sur une évaluation des processus sur la base de données archivées. Il est très prématuré de tirer des conclusions définitives sur le recours aux pesticides dans les Ziban. En effet, de façon générale, nous assistons malheureusement à l'absence d'enregistrement des usages et pratiques phytosanitaires par la majorité des agriculteurs enquêtés.

Au niveau de l'enquête des pratiques, cette étude a révélé par ailleurs, des manipulations qui peuvent être sources de pollutions ponctuelles du milieu. Ce sont les emballages vides dont la gestion est problématique. Ils sont entassés à proximité des serres et ne font l'objet d'aucun dispositif spécifique de récupération. Les fonds et l'eau de rinçage de cuves ne sont pas toujours dilués et épandus sur la culture en place mais déversés à même le sol sans précaution aucune.

Les manipulateurs traitent les cultures sans aucune protection dans la quasi totalité des exploitations enquêtées. Cela pose un problème de sensibilisation et de formation des agriculteurs et applicateurs.

- **Conséquences environnementales: approche paramètres physico-chimiques**

Les sols étudiés sont basiques, avec une teneur naturelle en MO faible, ils sont également pauvres en argiles (sauf à M'Ziraa), modérément à fortement calcaires au Ziban Ouest et Est respectivement. La nappe phréatique, est plus atteinte par les pollutions que la nappe du Mio-pliocène. Les eaux des forages des sites situés à l'Ouest de la zone d'étude sont plus marquées

Conclusion générale et perspectives

par les différents indices de pollution (CE, NO_3^-) et donc présentent un risque plus élevé de contamination.

Sur neuf substances actives pesticides détectées dans les sols serricoles par les analyses chromatographiques, seules quatre molécules ont été insoupçonnées, 3 insecticides : l'azinphos-méthyl, le parathion-méthyl, le p,p'-DDE et un métabolite d'herbicide la déséthylatrazine puisqu'ils n'ont pas été évoqués lors des enquêtes. Cependant, seules l'azinphos-méthyl et le pp'-DDE ont été retrouvés sur l'ensemble des six sites. En l'absence de normes de contamination des sols aux niveaux national et international, seul le p,p'-DDE a été comparé à la valeur guide canadienne des sols contaminés de $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de sol sec et ses valeurs sont très inférieures à cette dernière.

Sur 8 échantillons d'eau, seule l'eau de surface du site de Ain Naga a été marquée par la présence de trois substances actives fongicides : carbendazime, propamocarbHCl et naphtalène. Leur détection a été signalée pour la première fois dans cette étude. Le carbendazime est la seule SA qui a été détectée à la fois dans les deux matrices.

Dans la région des Ziban, il semblerait que celle-ci reste épargnée, nous avons noté que les concentrations en traces sont en dessous des normes de l'OMS établies pour l'eau potable. Les eaux souterraines destinées à l'irrigation présentaient des teneurs inférieures au seuil de détection des molécules pesticides analysées. Il faut cependant rester très prudent pour deux raisons : Premièrement, la profondeur des prélèvements (une seule eau de d'aquifère superficiel échantillonnée), le faible nombre d'échantillons, ne permettent pas de considérer ce résultat comme définitif même pour les substances analysées. Deuxièmement, les substances analysées (limite analytique) ne recouvraient pas certaines substances actives citées par la bibliographie comme étant contaminantes de milieux très variées et en usage par les revendeurs et les exploitants.

Il s'agit là d'une première approche permettant à partir de quelques molécules choisies pour la fréquence de leur utilisation. Elles sont considérées dans le cadre de cette étude comme des traceurs de contamination.

- **Perspectives de recherche**

Les enquêtes ont un rôle important dans la détermination des SA pouvant circuler dans l'environnement. Cependant, des recherches doivent être effectuées par des analyses en multi-résidus, pour pouvoir porter un diagnostic complet sur l'état de contamination du milieu. Ces

Conclusion générale et perspectives

recherches devraient en priorité viser les nappes superficielles. Une surveillance et un suivi ciblés de la qualité des eaux souterraines de Sidi Okba vis-à-vis de la contamination par les pesticides et autres micropolluants paraissent indispensables. Aussi, un suivi des pratiques, au minimum sur les substances actives en vente, est nécessaire pour connaître les évolutions globales dans les SA utilisées et les doses. Les résultats présents sont destinés à constituer un premier diagnostic qui doit être périodiquement renouvelé pour pouvoir analyser les changements dans les expositions environnementales et sanitaires.

Des études devront être ciblées sur les légumes sous serre (volet non traité par la présente étude) surtout les solanacées et les cucurbitacées, car ces dernières constituent la cible directe des traitements. La matrice air à l'intérieur des serres est très importante à étudier aussi (volet toxicologique) surtout face à la non maîtrise de l'aération sous serres froides. D'autres études du système serricole seul (sous serre tunnels ou multichappelles) pour la production d'autres types de légumes (autre que la tomate), ou en association avec d'autres systèmes de culture (céréaliculture, arboriculture,...) devront être conduites au Ziban ;

Un dispositif de surveillance régulière des résidus de pesticides dans les puits et forages de faible profondeur (nappes phréatiques et des sables) paraît cependant indispensable en ciblant des sites caractéristiques avec une perméabilité élevée des sols, des teneurs faibles en argile et en MO. Il s'agit également de centrer l'échantillonnage sur les régions à vocation agricole et à système de production intensif et là où l'eau est à usage multiple (agriculture et alimentation en eau potable).

Ce travail montre l'importance qu'il faut dédier au respect des normes et des procédures dans l'usage des produits phytosanitaires dans ce type de système de production. Les moyens d'action qui peuvent être recommandés en direction des politiques publiques pour aller dans le sens de la « qualité », du respect des normes et des procédures et répondant aux exigences internationales pour le respect de la santé de l'homme et de l'environnement. Cela passe par la formation des agriculteurs sur la nocivité des substances qu'ils appliquent et aussi sur les raisons des lois et règlements nationaux et internationaux qui régulent la qualité des produits agricoles. En complément, il faut mettre en place une démarche de traçabilité des produits agricoles, notion centrale dans la valorisation de la filière. Elle seule permet de responsabiliser la chaîne de production qui implique l'agriculteur, le grossiste, le revendeur et le consommateur. Par ailleurs, il faut fonder la confiance dans la filière par le biais de la certification et la labellisation des produits agricoles. Les cahiers des charges des acheteurs

Conclusion générale et perspectives

permettent un autre mode de traçabilité fondée sur des exigences par rapport au cadre légal. Ils s'appuient sur des normes ISO et des laboratoires accrédités. Ces labélisations peuvent donner lieu à incitations et/ou aides de l'Etat (Agriculture biologique, Agriculture raisonnée, etc...). Elles peuvent s'adosser à une promotion des terroirs pour apporter de la valeur ajoutée aux produits qui en sont issus.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdesselam, Z. (2016). *Utilisation des sucres et virus de la granulose pour la lutte contre le carpocapse (Cydia pomonella L.) (Lepidoptera, Tortricidae) en verger de pommier situé dans la région d'Inoughissen (Wilaya de Batna)*. Université de Batna. Mémoire de Magister. p.126.
- Abrahao, R., Sarasa, J., Causape, J., Garcia-Garizabal, I., & Ovelleiro, J. L. (2011). Influence of irrigation on the occurrence of organic and inorganic pollutants in soil, water and sediments of a Spanish agrarian basin (Lerma). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(1), 124–134. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110901-208-10>.
- Aissaoui, A. (2013). *Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles*. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Mémoire de Magister. p.133.
- Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>.
- Al-sa'ed, R., Ramlawi, A., & Salah, A. (2011). A Survey on Utilization of Agricultural Pesticides in Selected Palestinian Districts. *Intern. J. Environ. Stud.*, 68: 519-529.
- Alix, A., Barriuso, E., Bedos, C., Bonicelli, B., Caquet, T., Dubus, I., ... Voltz, M. (2005). Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Chapitre 3 Devenir et transfert des pesticides dans l' environnement et impacts biologiques. In *Pesticides, Agriculture et environnement*, p. 219.
- Alletto, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddadj, D., & Barriuso, E. (2010). Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 367–400. <https://doi.org/10.1051/agro/2009018>
- Amalric, L. (2009). Analyses des pesticides dans les eaux. In *Géologues*, 14–21.
- ANAT. (2003). *Schéma directeur des ressources en eau» wilaya de Biskra, dossiers: les eaux souterraines, les potentialités en eaux superficielles, phase II*.p. 113.
- ANAT. (2006). *Monographie de la wilaya de Biskra*. p.160.
- Andreu, V., & Pico, Y. (2004). Determination of pesticides and their degradation products in soil: critical review and comparison of methods. *TRAC-TRENDS IN ANALYTICAL CHEMISTRY*, 23(10–11), 772–789. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.07.008>.
- Aneja, V., Schlesinger, W., Shih, J.-S., Burtraw, D., Palmer, K., Siikamaki, J., ... Erduran, M. (2008). Air and Groundwater Pollution in an Agricultural Region of the Turkish Mediterranean Coast. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(9), 1240–1249. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.9.1240>
- Anonyme. (2006). MADR. *Note sur l'état du potentiel productif agricole*.p.50.
- ANRH. (2008). *Inventaire des points d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Biskra*. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction Régionale Sud-Ouargla.p.24.

Références bibliographiques

- Anses. (2011). Agence nationale de sécurité sanitaire. *Recherche d' insecticides potentiellement utilisables en lutte antivectorielle*. Rapport d'expertise collective.p. 158.
- Antipolis, S. (2006). Méditerranée, Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement. *Programme Des Nations Unies Pour l'Environnement, Plan d'Action Pour La Méditerranée*.p.28.
- Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara, J., Mejuto, J. C., & García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.123 (4), 247-260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.011>
- Avicor, S. W., Owusu, E. O., & Eziyah, V. Y. (2011). Farmers' perception on insect pests control and insecticide usage pattern in selected areas of Ghana. *New York Science Journal*, 4(11), 23–29.
- Ayad-Mokhtari, N. (2012). *Identification et dosage des pesticides dans l'Agriculture et les problèmes d'environnement liés*. Université d'Oran. Mémoire de Magister. p.87.
- Bahri, F., & Saibi, H. (2010). Characterisation, classification, and evaluation of some groundwater samples in the Mostaganem area of northwestern Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(1), 79–89. <https://doi.org/10.1007/s12517-009-0062-0>.
- Baran, N., & Barras, A. . (2008). *Processus de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les eaux souterraines en Martinique Rapport de phase 1*.p.69.
- Batsch, D. (2011). *L'impact des pesticides sur la santé humaine*. Université Henri Poincaré-Nancy1.Thèse de Doctorat.p. 184.
- Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., ... Qaryouti, M. (2013). *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Principles for Mediterranean climate areas*. FAO.p. 640.
- Becker, S., Halsall, C. J., Tych, W., Kallenborn, R., Schlabach, M., & Manø, S. (2012). Changing sources and environmental factors reduce the rates of decline of organochlorine pesticides in the Arctic atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(9), 4033–4044. <https://doi.org/10.5194/acp-12-4033-2012>
- Belhadi, A., Mehenni, M., Reguieg, L., & Yakhlef, H. (2016). Pratiques phytosanitaires des serristes maraichers de trois localités de l'est des Ziban et leur impact potentiel sur la sante humaine et l'environnement. *Revue Agriculture, 1*, 9–16.
- Bellamine, K., Elabidi, A., Benbakhta, B., & Hajjaji, N. (2012). Residues of organochlorines pesticides in soil of the rural zone of Kenitra (Gharb of Morocco). *Continental Journal of Water, Air and Soil Pollution*, 3(2), 20–30.<https://doi.org/10.5707/cjwasp.2012.3.2.20.30>
- Belmonte Vega, A., Garrido Frenich, A., & Martínez Vidal, J. L. (2005). Monitoring of pesticides in agricultural water and soil samples from Andalusia by liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 538(1–2), 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.003>
- Ben Abdelhamid, F. (2016). *Evaluation de l'impact des produits phytosanitaire sur l'Environnement (Cas des pesticides dans la wilaya d'El-Oued*. Université de Ghardaïa. MasterII. p. 126.

Références bibliographiques

- 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.
- Benaziza, A. (2012). Recherche sur la période d'échantillonnage des feuilles d'abricotier cultivé dans la région de Biskra (Algérie). *Courrier Du Savoir*, 13, 53–61.
- Benbakhta, B., Khallaf, M., Fekhaoui, M., Abidi, A. El, Dussauze, J., & Yahyaoui, A. (2014). Organochlorine pesticides in sediments from the atlantic coast of Morocco. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 6(4), 1129–1137.
- Benmahdi, F. (2008). *Etude de la rétention d'un herbicide dans un sol agricole*. Université Hadj Lakhdar-Batna. Mémoire de Magister. p. 116.
- Blumberg, D. (2008). Date palm arthropod pests and their management in Israel. *Phytoparasitica*, 36(5), 411–448. <https://doi.org/10.1007/BF03020290>
- Bojacá, C. R., Arias, L. A., Ahumada, D. A., Casilimas, H. A., & Schrevens, E. (2013). Evaluation of pesticide residues in open field and greenhouse tomatoes from Colombia. *Food Control*, 30(2), 400–403. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.08.015>
- Bono-Blay, F., Guart, A., de la Fuente, B., Pedemonte, M., Pastor, M. C., Borrell, A., & Lacorte, S. (2012). Survey of phthalates, alkylphenols, bisphenol A and herbicides in Spanish source waters intended for bottling. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(8), 3339–3349. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0851-y>
- Boualem, M., Allaoui, H., Hamadi, R., & Medjahed, M. (2012). Biologie et complexe des ennemis naturels de *Tuta absoluta* à Mostaganem (Algérie). *EPPO Bulletin*, 42(2), 268–274. <https://doi.org/10.1111/epp.2570>
- Bouammar, B. (2010). *Le développement agricole dans les régions sahariennes*. Etude de cas de la région de Ouargla et de la région de Biskra (2006-2008). Université Kasdi Merbah-Ouargla. Thèse de Doctorat. p. 296.
- Bouammar, B. (2012). L'agriculture saharienne et sécurité alimentaire en Algérie. In *La sécurité alimentaire et l'agriculture saharienne* (pp. 99–105).
- Bouaricha, H. (2013). *Evaluation du stress oxydatif induit par le Proclaim: Essai comparatif sur deux modèles biologiques (Helix aspersa et Paramecium sp.)*. Université Badji-Mokhtar-Annaba. Thèse de Doctorat. p. 148.
- Bouchemal, F., & Achour, S. (2015). Qualité physico-chimique et paramètres de pollution des eaux souterraines de la région de Biskra. *Larhyss Journal*, 22, 197–212.
- Boudina, A., Baaliouamer, A., Emmelin, C., & Chovelon, J. M. (2011). Photostability and phototransformation pathway of an benzimidazolic fungicide. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 24, 367–371.
- Boukhalfa, H. H., Decock, N., & Belhamra, M. (2017). Caractérisation granulométrique des jets de pulvérisation par ombroscopie a différentes hauteurs de buse. *Courrier Du Savoir*, 22, 175–181.
- Boumaraf, B. (2013). *Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'Oued Righ, Sahara Nord Oriental, Algérie*. Université de Reims Champagne-Ardenne. Thèse de

Références bibliographiques

- Doctorat. p.108.
- Bouraie, M. M. El, Barbary, a a El, & Yehia, M. (2011). Determination of Organochlorine Pesticide (OCPs) in Shallow Observation Wells from El-Rahawy Contaminated Area , Egypt. *Environmental Research Engineering and Management*, 3(57), 28–38.
- Bouziani, M. (2007). L'usage immodéré des pesticides: De graves conséquences sanitaires. *Le Guide de La Médecine et de La Santé. Santé Maghreb*. Retrieved from https://scholar.google.fr/scholar?as_sdt=1,5&q=pesticide+maghreb&hl=fr#5.
- Brahim, I. (2010). *Étude du comportement de ponte du carpocapse (Cydia pomonella L.) (Lepidoptera, Tortricidae) sur deux variétés de pommier*. Université de Batna. Mémoire de Magister. p.192.
- Brecknridge, C. B., & Stevens, J. T. (2007). Crop Protection Chemicals: Mechanisms of action and hazard profiles. In A. W. Hayes (Ed.), *Principle and methods of toxicology* (Fifth, p. 2296). CRC Press.
- Briand, O. (2009). Résidus de pesticides: Quelle (s) liste (s) prioritaire (s) pour Quelle (s) utilisation (s)? In *Mieux connaître les usages de pesticides pour comprendre les expositions* (p. 25).
- Brinis, N. (2011). *Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride cas de l'aquifère d'El-Outaya region Nord-Ouest de Biskra. Algérie*. Université Mohamed Khider-Biskra. Thèse de Doctorat. p.252.
- Brock, T. C., Arts, G. H., Maltby, L., & Van den Brink, P. J. (2006). Aquatic risks of pesticides, ecological protection goals, and common aims in European Union Legislation. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2(4), 20–46. <https://doi.org/10.1002/ieam.5630020402>
- Brown, S. L., & Balch, G. T. (1987). Chapter 4 Pesticide Formulation. In *Private pesticide applicator training manual* (pp. 85–108). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Burow, K. R., Stork, S. V, & Dubrovsky, N. M. (1998). Nitrate and pesticides in ground water in the eastern San Joaquin Valley, California: occurrence and trends. *US Department of the Interior, US Geological Survey*, 33. Retrieved from http://www.calwater.ca.gov/Admin_Record/D-039888.pdf
- Calvet, R., Barriuso, E., Bedos, C., Benoit, P., Caharnay, M.-P., & Coquet, Y. (2005). *Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales*. Edition France Agricole.p 636.
- Castilla, N., Hernández, J., & Abou-Hadid, A. F. (2004). Strategic crop and greenhouse management in mild winter climate areas. *Acta Horticulturae*, 633(January 2004), 183–196.
- Cerruto, E., & Emma, G. (2010). Exposure to Pesticides : a Survey on Sicilian Greenhouse Operators. In *International Conference Ragusa SHWA2010 - September 16-18, 2010 Ragusa Ibla Campus- Italy "Work Safety and Risk Prevention in Agro-food and Forest Systems"* (pp. 236–243).
- Chebbah, M. (2007). *Lithostratigraphie, Sédimentologie et Modèles de Bassins des dépôts*

Références bibliographiques

- néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'Accident Sud Atlasique (Ziban, Algérie)*. Université Mentouri-Constantine. Thèse de Doctorat.p. 479.
- Chen, L., Ran, Y., Xing, B., Mai, B., He, J., Wei, X., ... Sheng, G. (2005). Contents and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in vegetable soils of Guangzhou, China. *Chemosphere*, 60, 879–890. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.011>
- Chen, Y., Huang, B., Hu, W., Weindorf, D. C., & Yang, L. (2013). Environmental assessment of closed greenhouse vegetable production system in Nanjing, China. *Journal of Soils and Sediments*, 13(8), 1418–1429. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0729-8>
- Cherif, K. (2014). *Etude éco-épidémiologique de la Leishmaniose cutanée dans le bassin du Hodna (M'Sila)*. Université Ferhat Abbas-Setif. Thèse de Doctorat.p.197.
- CIPR. (2010). *Rapport d' évaluation sur les biocides et les produits anticorrosifs. Commission Internationale pour la Protection du Rhin*.p.6.
- Coupe, R. ., Manning, M. ., Foreman, W. ., Goolsby, D. ., & Majewsky, M. . (2000). Occurrence of pesticides in rain and air in urban and agricultural areas of Mississippi, April–September 1995. *Science of the Total Environment*, 248, 227–240. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969799005458>
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402–1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Daoudi, A. (2013). *Le système d'innovation technique dans la filière maraîchage sous serre à Biskra: dynamiques et limites d'un nouveau modèle de production et de circulation de connaissances*. Rapport technique final. Centre de recherche pour le développement international.p.28.
- Debieche, T.-H. (2002). *Evolution de la qualité des eaux (salinite, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle: Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien*. Université de Franche-Comte. Thèse de Doctorat.p. 235.
- DGF. (2003). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar Chott Melghir(Wilaya d' El Oued, Algérie).p.13.
- Diop, A. (2013). *Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Nia yes de Dakar (Sénégal)*. Université du Littoral Côte d'Opale. Thèse de Doctorat. p.241.
- Domange, N. (2005). *Etude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticole (Rouffach, Haut-Rhin)*. Université Louis Pasteur - Strasbourg I. Thèse de Doctorat. p.329.
- Drouiche, A. M., Chaib, W., Rezeg, A., Bougherira, N., Hamzaoui, W., & Djabri, L. (2013). Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en régions arides; cas d' Elghrous (Région des Ziban-Sud-Est Algérien). *Journal Algérien Des Régions Arides*, (Numéro Spécial), 65–75.
- ECPA. (2008). *Counterfeit Pesticides Across Europe - 2008 Facts , Consequences and*

Références bibliographiques

- Actions Needed*. European Crop Protection Association. p.21.
- Ekefan, E. ., & Eche, C. . (2013). Indigenous biopesticides use and biodiversity management. In *Proceedings of the 9th National Conference on Organic Agriculture in Nigeria, 11-15 November, 2013* (pp. 45–63).
- El Azzouzi, E. habib. (2013). *Processus Physico- chimiques d'Elimination des pesticides dans l'environnement: Cas de l'Imazéthapyr*. Université Mohammed V – Agdal. Thèse de Doctorat. p.109.
- El Bakouri, H., Aassiri, A., Morillo, J., Usero, J., Khaddor, M., & Ouassini, A. (2008). Pesticides and lipids occurrence in Tangier agricultural soil (northern Morocco). *Applied Geochemistry*, 23, 3487–3497. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.08.009>
- El Bakouri, H., Ouassini, A., Aguado, J. M., & Garcia, J. U. (2007). Endosulfan sulfate mobility in soil columns and pesticide pollution of groundwater in Northwest Morocco. *Water Environment Research*, 79(13), 2578–2584. <https://doi.org/10.2175/106143007X184528>
- El Mrabet, K. (2008). *Développement d'une méthode d'analyse de résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem dans les matrices céréalières après extraction en solvant chaud pressurisé*. Université Pierre et Marie Curie. Thèse de Doctorat. p.292.
- Elbert, A., Haas, M., Springer, B., Thielert, W., & Nauen, R. (2008). Mini-review Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*, 64, 1099–1105. <https://doi.org/10.1002/ps>
- Etteieb, S., Kawachi, A., Elayni, F., Han, J., Tarhouni, J., & Isoda, H. (2014). Environmental risk assessment of groundwater quality and treated wastewater reuse on aquifer recharge: a case study in Korba, Tunisia. *Desalination and Water Treatment*, 52(10–12), 2032–2038. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.808587>
- FAO. (2013). *FAO Statistical Yearbook 2013*. p.289. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FAO/WHO. (2012). *Fao Specifications and Evaluations for Agricultural Pesticides. Propamocarb*.p.45.
- Fédération Nationale des Groupements de Défense Sanitaire. (2007). *Lutte contre les insectes en élevage*. Un guide publié par la Fédération Nationale des Groupements de Défense Sanitaire, en collaboration avec le Réseau FARAGO. p.52.
- Fekkoul, A., Zarhloule, Y., Boughriba, M., Barkaoui, A. eddine, Jilali, A., & Bouri, S. (2013). Impact of anthropogenic activities on the groundwater resources of the unconfined aquifer of Triffa plain (Eastern Morocco). *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 4917–4924. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0740-1>
- Fogg, P. (2004). *Fate and behaviour of pesticides in biobeds*. Cranfield University, Silsoe. Thèse de Doctorat. p.178. <https://doi.org/10.1021/jf040023n>
- Fox, J. E., Gullledge, J., Engelhaupt, E., Burow, M. E., & McLachlan, J. A. (2007). Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(24), 10282–

Références bibliographiques

10287. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611710104>
- Gamet-Payraastre, L. (2011). Effets physiopathologiques des mélanges de pesticides. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46, 82–85. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2011.02.003>
- Garnaud, J.-C. (1984). La plasticulture dans les régions Méditerranéennes aquis et perspectives. *Acta Horticulturae. Plastics in Mediterranean Countries*, 73–79.
- Gevao, B., Semple, K., & Jones, K. (2000). Bound pesticide residues in soils: a review. *Environmental Pollution*, 108, 3-14. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749199001979>
- Gilliom, R. J. (2007). Pesticides in U.S. Streams and Groundwater. *Environmental Science and Technology*, 3409–3414.
- Giroux, I. (2003). *Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre*. Campagne d'échantillonnage de 1999-2000-2001. p.23 + annexes.
- Gish, T. G., Shirmohammadi, A., & Wienhold, B. J. (1994). Field-Scale Mobility and Persistence of Commercial and Starch-Encapsulated Atrazine and Alachlor. *Journal of Environmental Quality*, 23(2), 355–359.
- Gonzalez, M., Miglioranza, K. S. B., Shimabukuro, V. M., Londoño, O. M. Q., Martinez, D. E., Aizpún, J. E., & Moreno, V. J. (2012). Surface and groundwater pollution by organochlorine compounds in a typical soybean system from the south Pampa, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 65, 481–491. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1328-x>
- Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977–987. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12111>
- Grube, A., Donaldson, D., Kiely, T., & Wu, L. (2011). *Pesticides Industry Sales and Usage: 2006 and 2007 Market Estimates*. Rapport EPA. p.41. Retrieved from <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/3000659P.pdf>
- Grünberger, O. (2015). *Dynamiques salines des sols des milieux arides et semi-arides*. Université de Montpellier. Mémoire d'HDR. p.131.
- Guemache, S., Zelligui, H., & Hamdi chérif, M. (2007). Epidémiologie de la Leishmaniose cutanée. PPT. p.27.
- Guimont, S. (2005). *Devenir des pesticides dans les sols en fonction de l'état d'humidité et du mode de circulation de l'eau dans le sol*. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Thèse de Doctorat.p.222.
- Gurvinder, S., Maninderjit, K., & Mohan, C. (2013). Benzimidazole: The Latest Information of Biological Activities. *International Research Journal of Pharmacy*, 4(1), 82–87.
- Haarstad, K., Bavor, J., & Roseth, R. (2012). Pesticides in Greenhouse Runoff, Soil and Plants: A Screening. *The Open Environmental & Biological Monitoring Journal*, 5, 1–13. Retrieved from <http://www.benthamscience.com/open/toebmj/articles/V005/1TOEBMJ.pdf>

Références bibliographiques

- Hafiane, M., Hamzaoui, D., Bouchelouche, D., Mebarki, M., & Arab, A. (2013). Application de l'I.B.G.N et du B.M.W.P' sur un oued temporaire d'Algérie. In *USTHB-FBS-4th International Congress of the Populations & Animal Communities "Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems" "CIPCA4" TAGHIT (Bechar) – ALGERIA, 19-21 November, 2013* (pp. 196–204).
- 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. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0777>
- Hamdart, J. (2016). *Studies on some heterocyclic compounds as potential anticancer agents*. Chapter 2, Literature Review. p. 52.
- Hammadi, D., Boubidi, S. C., Chaib, S. E., Saber, A., Khechache, Y., Gasmi, M., & Harrat, Z. (2009). Le paludisme au Sahara algérien. *Bulletin de La Societe de Pathologie Exotique*, 102(3), 185–192. <https://doi.org/10.3185/pathexo3356>
- Harner, T., Pozo, K., Gouin, T., Macdonald, A. M., Hung, H., Caine, J., & Peters, A. (2006). Global pilot study for persistent organic pollutants (POPs) using PUF disk passive air samplers. *Environmental Pollution*, 144, 445–452. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.053>
- Heberer, T., & Dünnebier, U. (1999). DDT metabolite bis(chlorophenyl)acetic acid: The neglected environmental contaminant. *Environmental Science and Technology*, 33(14), 2346–2351. <https://doi.org/10.1021/es9812711>
- Hildebrandt, A., Lacorte, S., & Barceló, D. (2009). Occurrence and fate of organochlorinated pesticides and PAH in agricultural soils from the Ebro River basin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 57, 247–55. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9260-0>
- Hocini, N., & Moulla, A. S. (2005). Detection of water leaks in Foug El-Gherza Dam (Algeria). In *Ninth International Water Technology Conference, IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt* (pp. 581–589).
- Houot, S., Topp, E., Yassir, A., & Soulas, G. (2000). Dependence of accelerated degradation of atrazine on soil pH in French and Canadian soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(5), 615–625. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00188-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00188-1)
- Houze, E. (2003). *Mesure des pesticides dans l'air ambiant en milieu urbain Campagne 2003 (du 29 avril au 8 juillet)*.
- INRA. (2012). *Pesticide Safety Risk Management in High Value Chains: the case of Turkey and Morocco*. Collaborative project. p.73.

Références bibliographiques

- ITCMI. (2010). Fiche technique valorisée des cultures maraîchères et Industrielles: La culture de TOMATE. *Institut Technique Des Cultures Maraîchères et Industrielles*, 6.
- ITCMI. (2015). *Guide pratique de la production de plants pour les cultures sous serres*.p.18.
- IUF/UITA/IUL. (2001). *Manuel de formation sur les pesticides. Projet PNUE - Sustainlabour: Renforcer la participation des syndicats dans les processus environnementaux internationaux*.p.100.
- Jauregui, J., Valderrama, B., Albores, A., & Vazquez-Duhalt, R. (2003). Microsomal transformation of organophosphorus pesticides by white rot fungi. *Biodegradation*, 14, 397–406. <https://doi.org/10.1023/A:1027316610450>
- Jaward, F. ., Farrar, N. ., Harner, T., Sweetman, A. ., & Jones, K. . (2004). Passive Air Sampling of PCBs , PBDEs , and Organochlorine Pesticides Across Europe. *Environmental Science & Technology*, 38, 34–41. <https://doi.org/10.1021/es034705n>
- Jenkins, J. J., Zabik, M. J., Kon, R., & Goodmant, E. D. (1983). A Model for Azinphosmethyl Attenuation and Movement in a Michigan Orchard Ecosystem: I . Development and Presentation of the Experimental Data Base. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 12, 99–110.
- Jiang, Y.-F., Wang, X.-T., Jia, Y., Wang, F., Wu, M.-H., Sheng, G.-Y., & Fu, J.-M. (2009). Occurrence, distribution and possible sources of organochlorine pesticides in agricultural soil of Shanghai, China. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3), 989–97. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.082>
- Jin, X., Cui, N., Zhou, W., Khorram, M. S., Wang, D., & Yu, Y. (2014). Soil genotoxicity induced by successive applications of chlorothalonil under greenhouse conditions. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(5), 1043–1047. <https://doi.org/10.1002/etc.2538>
- Jin, X., Cui, N., Zhou, W., Safaei Khorram, M., Wang, D., & Yu, Y. (2014). Soil genotoxicity induced by successive applications of chlorothalonil under greenhouse conditions. *Environmental Toxicology and Chemistry / SETAC*, 33(5), 1043–1047. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.2538/full>
- Jordaan, M. S., Reinecke, S. A., & Reinecke, A. (2012). Acute and sublethal effects of sequential exposure to the pesticide azinphos-methyl on juvenile earthworms (*Eisenia andrei*). *Ecotoxicology*. 21:649–661.
- Joshi, D. M., Kumar, A., & Agrawal, N. (2009). Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district. *Rasayan Journal of Chemistry*, 2(2), 285–292.
- Kacira, M., Sase, S., Kacira, O., Okushima, L., Ishii, M., Kowata, H., & Moriyama, H. (2004). Status of Greenhouse Production in Turkey: Focusing on Vegetable and Floriculture Production. *Journal of Agricultural Meteorology*, 60(2), 115–122.
- Kaczmaryk, A. (2011). *Contamination de l'environnement par les produits phytosanitaires en Poitou-Charentes période 2006-2010*. Ecophyto2018. p. 34.
- Kansaye, L., Zhang, J., Wu, H., Gao, B., & Zhang, X. (2013). Dissipation of Propamidine Fungicide Residues in Greenhouse Tomato. *Journal of Agricultural Science*, 5(5), 235–

Références bibliographiques

244. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n5p235>
- Kaspi, R., & Parrella, M. P. (2005). Abamectin compatibility with the leafminer parasitoid *Diglyphus isaea*. *Biological Control*, 35(2), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.07.021>
- Katsoulas, N., Boulard, T., Tsiropoulos, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2012). Experimental and modelling analysis of pesticide fate from greenhouses: The case of pyrimethanil on a tomato crop. *Biosystems Engineering*, 113(2), 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.07.007>
- Keddal, H., & Yao N'dri, J. (2007). Impacts De L ' Intensification Agricole Sur La Qualite Des Eaux De Surface Et Des Eaux Souterraines. *HTE*, 1(138), 13–29.
- Khaled-Khodja, S. (2016). *Évaluation de la qualité physico-chimique des rejets anthropiques (urbains, agricoles et industriels) au Golfe d'Annaba*. Université Badji Mokhtar Annaba.p.186.
- Khan, S. A., Ali, A., & Baig, M. N. (2013). The linkage between agricultural practices and environmental degradation. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 1(1), 19–22.
- 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)*. Ecole Nationale Agronomique El Harrach-Alger. Mémoire de Magister. p.81.
- Kihampa, C., Ram Mato, R., & Mohamed, H. (2010). Residues of Organochlorinated Pesticides in Soil from Tomato Fields , Ngarenanyuki , Tanzania. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(3), 37–40.
- Kinney, C. A., Mandernack, K. W., & Mosier, A. R. (2005). Laboratory investigations into the effects of the pesticides mancozeb, chlorothalonil, and prosulfuron on nitrous oxide and nitric oxide production in fertilized soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(5), 837–850. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.044>
- Kolok, A. S., Sellin Jeffries, M. K., Knight, L., Snow, D. D., & Bartelt-Hunt, S. L. (2014). The hourglass: A conceptual framework for the transport of biologically active compounds from agricultural landscapes. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(2), 266–274. <https://doi.org/10.1111/jawr.12158>
- Kolpin, D. W., Thurman, E. M., & Linhart, S. M. (2000). Finding minimal herbicide concentrations in ground water? Try looking for their degradates. *The Science of the Total Environment*, 248(2–3), 115–122. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00535-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00535-5)
- Konstantinou, I., Hela, D., & Albanis, T. (2006). The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. *Environmental Pollution*, 141, 555–570. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749105004598>
- Kouzayha, A., Rabaa, A. R., Al Iskandarani, M., Beh, D., & Jaber, F. (2012). Multiresidue Method for Determination of 67 Pesticides in Water Samples Using Solid-Phase Extraction with Centrifugation and Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *American Journal of Analytical Chemistry*, (March), 257–265.

Références bibliographiques

- Kreuger, J., Graaf, S., Patring, J., & Adielsson, S. (2010). *Pesticides in surface water in areas with open ground and greenhouse horticultural crops in Sweden 2008*.p.49. Retrieved from <http://pub.epsilon.slu.se/5413/>
- Kuhlau, A. (2008). Environmental fate of pesticides used as seed dressing – transport behaviour and occurrence in watercourses. *Swedish University of Agricultural Sciences - Department of Soil Sciences - Division of Water Quality Management, Uppsala, Seminarier Och Examensarbeten*, (61), 75.
- Kumar, B., Kumar, S., Gaur, R., Goel, G., Mishra, M., Singh, S. K., ... Sharma, C. S. (2011). Persistent organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in intensive agricultural soils from North India. *Soil Water Research*, 6(4), 190–7. Retrieved from <http://81.0.228.28/publicFiles/51682.pdf>
- Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A., & Saxena, R. (2007). A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *Environmental Geology*, 53(3), 553–574. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0672-3>
- Labadi, A., & Achour, S. (2011). Apport de l'Analyse piezométrique dans l'étude des fuites du barrage route à ssises Calcaires de Foum El Gherza, Biskra, Algérie. *Courrier Du Savoir*, 11(1), 25–32.
- Labdi, N. (2016). *Impact du barrage de Foum El Gherza sur le développement de l'agriculture en irrigué dans le périmètre de Sidi Okba (Biskra)*. Mohamed Khider Biskra. Mémoire de Magister. p.138.
- Laboratoire national de métrologie et d'essais. (2009). *Esquisse sur les enjeux et perspectives liés à la présence des pesticides en France. Panorama des approches méthodologiques pour la mesure dans les eaux*.p.67.
- Lachambre, M., & Fisson, C. (2007). *La contamination chimique: Quel risque en Estuaire de Seine?*. Fiche substance : pesticides organoazotés – Atrazine, Simazine.p.13.
- Lalancette, A. (2012). *Méthode de lutte à la contamination des eaux de surface en Montérégie par les pesticides agricoles*. Centre de formation en environnement-Université de Sherbrooke.Maîtrise en environnement.p.122. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lammel, G., Ghim, Y. S., Grados, A., Gao, H., Hühnerfuss, H., & Lohmann, R. (2007). Levels of persistent organic pollutants in air in China and over the Yellow Sea. *Atmospheric Environment*, 41, 452–464. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.08.045>
- Lamont, W. J. (2009). Overview of the use of high tunnels worldwide. *HortTechnology*, 19(March), 25–29.
- Lamprea-Maldonado, D. K. (2009). *Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains*. Ecole Centrale de Nante.Thèse de Doctorat.p.297. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00596847>
- Landreau, A., Mouvet, C., & Normand, B. (1999). Quelques aspects hydrologiques des transferts de solutés par infiltration vers les nappes: nitrates et phytosanitaires. *La*

Références bibliographiques

- Houille Blanche*, 5, 81–86.
- Landry, D., Dousset, S., & Andreux, F. (2006). Leaching of oryzalin and diuron through undisturbed vineyard soil columns under outdoor conditions. *Chemosphere*, 62(10), 1736–1747. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.024>
- Lari, S. Z., Khan, N. a, Gandhi, K. N., Meshram, T. S., & Thacker, N. P. (2014). Comparison of pesticide residues in surface water and ground water of agriculture intensive areas. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12(11), 7. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-11>
- LeBaron, H., McFarland, J., & Burnside, O. (2008). *The Triazine Herbicides 50 years revolutionizing agriculture*. (H. LeBaron, J. McFarland, & O. Burnside, Eds.), Elsevier.p.601. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Lebik, H., & Ait-amar, H. (2013). Pesticides occurrence in groundwater sources of Mouzaïa (Algeria). *African Journal of Agricultural Research*, 8(31), 4269–4279. Retrieved from [http://www.academicjournals.org/article/article1380886960_Lebik and Ait-Amar.pdf](http://www.academicjournals.org/article/article1380886960_Lebik%20and%20Ait-Amar.pdf)
- Lecomte, V., Barriuso, E., Bresson, L. M., Koch, C., & Le Bissonnais, Y. (2001). Soil surface structure effect on isoproturon and diflufenican loss in runoff. *Journal of Environmental Quality*, 30, 2113–2119. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2113>
- Lewandowska, A., & Walorczyk, S. (2010). Carbendazim Residues in the Soil and Their Bioavailability to Plants in Four Successive Harvests. *Pol J Environ Stud*, 19(4), 757–761. Retrieved from <http://www.pjoes.com/pdf/19.4/757-761.pdf>
- Lewis, C.-M. (2004). *Azinphos-Methyl (Guthion) Risk Characterization document (Revision No.1)*.p.166. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Li, J., Zhang, G., Qi, S., Li, X., & Peng, X. (2006). Concentrations, enantiomeric compositions, and sources of HCH, DDT and chlordane in soils from the Pearl River Delta, South China. *Science of the Total Environment*, 372(1), 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.023>
- Licciardello, F., Antoci, M. L., Brugaletta, L., & Cirelli, G. L. (2011a). Evaluation of groundwater contamination in a coastal area of south-eastern Sicily. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B*, 46(6), 498–508. <https://doi.org/10.1080/03601234.2011.583870>
- Licciardello, F., Antoci, M. L., Brugaletta, L., & Cirelli, G. L. (2011b). Evaluation of groundwater contamination in a coastal area of south-eastern Sicily. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 46(6), 498–508. <https://doi.org/10.1080/03601234.2011.583870>
- MAAPRAT. (2012). *Ecophyto2018. Réduire et améliorer l'utilisation des phytos: moins, c'est mieux Guide de bonnes pratiques phytosanitaires Entretien des Espaces Verts et Voiries*.p.44.
- Marouane, B. (2014). *Transfert des nitrates et des pesticides dans les sols de la région du Gharb- Etude à l'échelle de la parcelle*. Université Mohammed V. Thèse de Doctorat.p.147.
- Martinez, E., Gros, M., Lacorte, S., & Barceló, D. (2004). Simplified procedures for the

Références bibliographiques

- analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in water, sediments and mussels. *Journal of Chromatography A*, 1047(2), 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.07.003>
- Marucci, A., Campiglia, E., Colla, G., & Pagniello, B. (2011). Environmental impact of fertilization and pesticide application in vegetable cropping systems under greenhouse and open field conditions. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(3 & 4), 840–846.
- Masiá, A., Campo, J., Navarro-Ortega, A., Barceló, D., & Picó, Y. (2015). Pesticide monitoring in the basin of Llobregat River (Catalonia, Spain) and comparison with historical data. *Science of the Total Environment*, 503–504, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.095>
- Masiá, A., Campo, J., Vázquez-Roig, P., Blasco, C., & Picó, Y. (2013). Screening of currently used pesticides in water, sediments and biota of the Guadalquivir River Basin (Spain). *Journal of Hazardous Materials*, 263, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.09.035>
- Masmoudi, R. (2009). *Etude de la fiabilité des systèmes de distribution d'eau potable en zones arides cas de la région de Biskra*. Université Mohamed Khider-Biskra.Thèse de Doctorat.p183.
- MATE. (2006a). *Plan National de Mise en oeuvre (PNM) ALGERIE – Convention de Stockholm*.p.137.
- MATE. (2006b). *Profil National pour l'Evaluation des Capacités de Gestion Rationnelle des Produits Chimiques*. Algérie.p.60.
- MATEE. (2006). *Rapport final sur la consultation sous-régionale pour les pays de l'Afrique du Nord: Algérie, Maroc et Tunisie sur la Convention de Rotterdam*.p.55.
- Matthews, G. A. (2008). Attitudes and behaviours regarding use of crop protection products- A survey of more than 8500 smallholders in 26 countries. *Crop Protection*, 27(3–5), 834–846. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.10.013>
- Mawussi, G. (2008). *Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (Hypothenemus)*. Université de Toulouse.Thèse de Doctorat.p.207.
- MEDD & Agence de l'eau. (2003). *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau, grille d'évaluation SEQ-Eau (Version 2)*.p.40.
- Messameh, A. ., Laborde, J. ., & Benmebarek, S. (2009). Modélisation géostatistique de la salinité des eaux souterraines : cas de la nappe des sables de Biskra. *Courrier Du Savoir*, 9(Mars), 49–56.
- Millet, M., Wortham, H., Sanusi, A., & Mirabel, P. (1997). Atmospheric Contamination by pesticides: Determination in the Liquid, Gaseous and Particulate Phases. *Environmental Science and Pollution Research*, 4(3), 172–180.
- Ministère de l'agriculture du Canada. (1976). *Glossaire des termes de la science des sols*.p.45.

Références bibliographiques

- Montuori, P., Aurino, S., Nardone, A., Cirillo, T., & Triassi, M. (2015). Spatial distribution and partitioning of organophosphates pesticide in water and sediment from Sarno River and Estuary, Southern Italy. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 8629–8642. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2419-x>
- Morissette, S., & Martel, S. (2014). *Problématique et solutions potentielles afin de réduire la contamination de l'eau par les pesticides dans les secteurs de production de pommes de terre* *Revue de littérature et plan d'action*.p.60.
- Mottes, C., Lesueur-Jannoyer, M., Le Bail, M., & Malézieux, E. (2014). Pesticide transfer models in crop and watershed systems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 229–250. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0176-3>
- Moussaoui, K. ., Boussahel, R., Tchoulak, Y., Haouchine, O., Benmami, M., & Dalachi, N. (2001). Utilisation, évaluation et impacts des pesticides en Algérie.PPT.p31.
- Moussaoui, Y., Tuduri, L., Kerchich, Y., Meklati, B., & Eppe, G. (2012). Atmospheric concentrations of PCDD/Fs, dl-PCBs and some pesticides in northern Algeria using passive air sampling. *Chemosphere*. 88, 270–277. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653512002159>
- Muhammad Aref Jaradat, K. (2009). *Adsorption and Desorption Characteristics of Endosulfan Pesticide in Three soils in Palestine*.Université Nationale An-Najah. Mémoire. p.100. <https://doi.org/10.2462/09670513.1003>
- Naouri, M., Hartani, T., & Kuper, M. (2015). Mobilités des jeunes ruraux pour intégrer les nouvelles agricultures sahariennes (Biskra, Algérie). *Cahiers Agricultures*, 24(6), 379–386. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0778>
- Ngowi, A. V. F., Mbise, T. J., Ijani, A. S. M., London, L., & Ajayi, O. C. (2007). Pesticides use by smallholder farmers in vegetable production in Northern Tanzania. *Crop Protection*, 26(11), 1617–1624. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.01.008>
- Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central , Maroc). *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4), 1068–1081.
- Ntow, W. J. (2008). *the Use and Fate of Pesticides in Vegetable-Based Agroecosystems in Ghana*. Université de Wageningen. Thèse de Doctorat. p.111.
- Oliver, D. P., Kookana, R. S., & Salama, R. B. (2003a). Land use effects on sorption of pesticides and their metabolites in sandy soils. I. Fenamiphos and two metabolites, fenamiphos sulfoxide and fenamiphos sulfone, and fenarimol and azinphos methyl. *Australian Journal of Soil Research*, 41(5), 847–860. <https://doi.org/10.1071/SR02094>
- Oliver, D. P., Kookana, R. S., & Salama, R. B. (2003b). Land use effects on sorption of pesticides and their metabolites in sandy soils. I. Fenamiphos and two metabolites, fenamiphos sulfoxide and fenamiphos sulfone, and fenarimol and azinphos methyl. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 847–860. <https://doi.org/10.1071/SR02094>
- Omirou, M., Vryzas, Z., Papadopoulou-Mourkidou, E., & Economou, A. (2009). Dissipation rates of iprodione and thiacloprid during tomato production in greenhouse. *Food Chemistry*, 116(2), 499–504. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.007>

Références bibliographiques

- OMS. (1963). Resistance aux insecticides et lutte contre les vecteurs, Treizième rapport du Comité OMS d'experts des Insecticides. Rapport N°265.p.128.
- ONM. (2014). Bulletin décadaire d'informations climatologiques et agrométéorologiques.p.20.
- 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, 4107–4115. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2853-0>
- Ould Baba Sy, M. (2005). *Recharge Et Paleorecharge Du Systeme Aquifere Du Sahara Septentrional*. Université de Tunis El Manar. Thèse de Doctorat.p271.
- Ould El Hadj, M. D. (2011). Problèmes de la lutte chimique au Sahara Algérien: Cas des acridicides. *Algerian Journal of Arid Environment*, 1(1), 77–83. Retrieved from <http://dspace.crstra.dz:8080/jspui/handle/123456789/287>
- Ozkan, B., Kurklu, A., & Akcaoz, H. (2004). An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: A case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 26(1), 89–95. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00080-1)
- Palma, G., Sánchez, A., Olave, Y., & Encina, F. (2004). Pesticide levels in surface waters in an agricultural–forestry basin in Southern Chile. *Chemosphere*, 57, 763–770. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653504007118>
- Papadakis, E.-N., Tsaoulas, A., Kotopoulou, A., Kintzikoglou, K., Vryzas, Z., & Papadopoulou-Mourkidou, E. (2015). Pesticides in the surface waters of Lake Vistonis Basin, Greece: Occurrence and environmental risk assessment. *Science of The Total Environment*, 536, 793–802. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.099>
- Periquet, A., Boisset, M., Casse, F., Catteau, M., Lecerf, J.-M., Leguille, C., ... Barnat, S. (2004). *Pesticides, risques & sécurité alimentaire*.p.216. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Pflieger, M. (2009). *Etude de la dégradation photochimique des pesticides adsorbés à la surface de particules atmosphériques*. Université de Province. Thèse de Doctorat.p. 293.
- Qiu, X. H., Zhu, T., Yao, B., Hu, J. X., & Hu, S. W. (2005). Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China. *Environmental Science & Technology*, 39(12), 4385–4390. <https://doi.org/10.1021/es050342a>
- Raju, N. J. (2007). Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. *Environmental Geology*, 52(6), 1067–1074. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0546-0>
- Ramdani, N., Tahri, N., & Belhadi, A. (2009). Pratiques phytosanitaires chez les serristes maraîchers des localités de Tolga et de Sidi-Okba (Wilaya de Biskra). *Journal Algérien Des Régions Arides*, 8, 73–80. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rathore, H. S., & Nollet, L. M. (2012). *Pesticides - Evaluation of Environmental Pollution*. (H. . Rathore & L. M. . Nollet, Eds.). CRC Press.p.644.
- Reinecke, S., & Reinecke, A. (2007). The impact of organophosphate pesticides in orchards

Références bibliographiques

- on earthworms in the Western Cape, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(2), 244–251. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651305002526>
- Rekibi, F. (2015). *Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra*. Mémoire de Magister.p.189.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Régis, B. (2009). Partie A: Analyse physico-chimique des eaux naturelles. In *L'Analyse de l'eau*. DUNOD, Vol. 9, pp. 141–159.
- Rorbet, V., & Chandre, F. (2009). Pesticides et lutte antivectorielle vecteurs du paludisme et des arboviroses. In *Colloque de restitution des travaux du 1er plan d'action ORP (Observatoire des Résidus de Pesticides) 2006-2008 Paris, Maison de la Chimie, 11 & 12 mars 2009*. (p. 41).
- Rouane, H. O. (2007). *Biosurveillance de la pollution marine au niveau de la côte occidentale algérienne par l'étude de la contamination du Merlu méditerranéen (Merluccius merluccius L., 1758) par les polluants organochlorés (HCB, DDT, DDE, DDD, Lindane)*. Université d'Oran Es-Sénia. Mémoire de Magister.p.209.
- Salghi, R., Mouden, O. I. D. El, Errami, M., Bazzi, L., & Zarrouk, A. (2013). Dissipation of carbendazim and iprodion during cultivation of peaches in the Region of Souss Massa Valley (Morocco). *Moroccan Journal of Chemistry*, 1(2013), 18–23.
- Sánchez-Camazano, M., & Sanchez-Martin, M. (1991). Hydrolysis of azinphosmethyl induced by the surface of smectites. *Clays and Clay Minerals*. Vol. 39, No. 6, 609-613. Retrieved from [http://www.clays.org/journal/archive/volume 39/39-6-609.pdf](http://www.clays.org/journal/archive/volume%2039/39-6-609.pdf)
- Scheyer, A. (2004). *Développement d'une méthode d'analyse par CPG/MS/MS de 27 pesticides identifiés dans les phases gazeuse, particulaire et liquide de l'atmosphère. Application à l'étude des variations spatio-temporelles des concentrations dans l'air et dans les eaux de pluie*. Université Louis Pasteur de Strasbourg. Thèse de Doctorat.p.273.
- Schrack, D., Coquil, X., Ortar, A., & Benoît, M. (2009). Rémanence des pesticides dans les eaux issues de parcelles agricoles récemment converties à l'agriculture Biologique. *Innovations Agronomiques*, 4, 259–268. Retrieved from <http://www.inra.fr/ciag/content/download/3290/29944/version/1/file/36-Schrack.pdf>
- Schreck, E. (2008). *Influence des modes d'entretien du sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration – Impact sur les lombriciens*. Université Toulouse III – Paul Sabatier. Thèse de Doctorat.p.301.
- Schreck, E., Geret, F., Gontier, L., & Treilhou, M. (2008). Neurotoxic effect and metabolic responses induced by a mixture of six pesticides on the earthworm *Aporrectodea caliginosa* nocturna. *Chemosphere*, 71(10), 1832–1839. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.02.003>
- Schreinemachers, P., & Tipraqsa, P. (2012). Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy*. 37(6): 616-626 <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.003>
- 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.

Références bibliographiques

- Selim, H. ., Bengtson, R. ., Southwick, L. ., Ricaud, R., & Schexnayder, H. . (1997). *Effect of application frequency on the fate of azinphosmethyl in a sugarcane field. Louisiana State University Agricultural Center*.p.32.
- Shomar, B. H., Müller, G., & Yahya, A. (2006). Occurrence of pesticides in groundwater and topsoil of the Gaza Strip. *Water, Air, and Soil Pollution*, 171, 237–251. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-9038-1>
- Shomar, B., Müller, G., & Yahya, A. (2006). Occurrence of pesticides in groundwater and topsoil of the Gaza Strip. *Water, Air, & Soil Pollution*. 171: 237–251. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s11270-005-9038-1>
- Singh, S., Raju, N. J., & Ramakrishna, C. (2015). Evaluation of Groundwater Quality and Its Suitability for Domestic and Irrigation Use in Parts of the Chandauli-Varanasi. *Journal of Water Resource and Protection*, 7, 572–587.
- Siouane, M. R. (2012). *Comparaison des pratiques phytosanitaires dans différents systèmes de culture. Application à la plaine de Metidja en Algérie*. CIHEAM-IAM de Montpellier.Mémoire de Hautes Etudes.p.96.
- Snoussi, S.-A. (2010). Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient, Rapport de mission, Etude de base sur la tomate en Algérie. *FAO*, 53.
- Soleille, S. (2006). Naphtalene. *INERIS, Données Technico-Économiques Sur Les Substances Chimiques En France*, 1–15.
- Solel, Z., Sandler, D., & Dinoor, A. (1979). Mobility and persistence of carbendazim and thiabendazole applied to soil via drip irrigation. *Phytopathology*, 69(12), 1273–1277. Retrieved from http://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1979Articles/Phyto69n12_1273.PDF
- Soroker, V., Blumberg, D., Haberman, a., Hamburger-Rishard, M., Reneh, S., Talebaev, S., ... Cadiou, C. (2005). Current status of red palm weevil infestation in date palm plantations in Israel. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(1), 244–51. <https://doi.org/10.1007/BF02980931>
- Spark, K. M., & Swift, R. S. (2002). Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. *Science of the Total Environment*, 298(1–3), 147–161. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00213-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00213-9)
- Staiff, D. C., Comer, S. W., Armstrong, J. F., & Wolfe, H. R. (1975). Persistence of Azinphosmethyl in Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 13(3), 362–368.
- Sukul, P., Lamshöft, M., Zühlke, S., & Spiteller, M. (2008). Sorption and desorption of sulfadiazine in soil and soil-manure systems. *Chemosphere*, 73, 1344–1350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.066>
- Tabouche, N., & Achour, S. (2004). Etude de la qualite des eaux souterraines de la region orientale du sahara septentrional algerien. *Larhyss Journal*, 3, 99–113.
- Tavares, T. M., Beretta, M., & Costa, M. C. (1999). Ratio of DDT/DDE in the All Saints Bay, Brazil and its use in environmental management. *Chemosphere*, 38(6), 1445–1452.

Références bibliographiques

[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(98\)00546-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00546-3)

- Tchounwou, P. ., Wilson, B., Ishaque, A., Ransome, R., Huang, M.-J., & Leszczynski, J. (2000). Toxicity assessment of atrazine and related Triazine compounds in the microtox assay, and computational modeling for Their structure-activity relationship. *International Journal of Molecular Sciences*, 1, 63–74. <https://doi.org/10.3390/ijms9122407>
- Tellier, S., Desrosiers, R., Duchesne, R.-M., & Samuel, O. (2006). *Les pesticides en milieu agricole: état de la situation environnementale et initiatives prometteuses*.p.90.
- Thybaud, E. (1990). Ecotoxicologie du lindane et de la deltamethrine en milieu aquatique. *Journal of Water Science*, 3(2), 195–209. <https://doi.org/10.7202/705071ar>
- Toumi, A., & Remini, B. (2004). Barrage De Foum El Gherza Face Au Probleme De Fuites D ' Eau. *Larhyss Journal*, 3, 25–38.
- Tuncel, S. G., Öztas, N. B., & Erduran, M. S. (2008). Air and Groundwater Pollution in an Agricultural Region of the Turkish Mediterranean Coast. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58, 1240–1249. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.9.1240>
- Turgut, C., Gokbulut, C., & Cutright, T. (2009). Contents and sources of DDT impurities in dicofol formulations in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(2), 214–217. <https://doi.org/10.1007/s11356-008-0083-3>
- Tutu, A. O., Yeboah, P. O., Golow, A. A., Denutsui, D., & Blankson-Arthur, S. (2011). Organochlorine Pesticides Residues in the Breast Milk of Some Primiparae Mothers in La Community , Accra , Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(2), 153–159. Retrieved from <http://maxwellsci.com/print/rjees/v3-153-159.pdf>
- Tüzel, Y., & Düzyaman, E. (2009). *Vegetable production in Turkey*.p.27.
- US Department of Health Education and Welfare. (1978). *Bioassays of DDT, TDE, and p,p'-DDE for possible carcinogenicity. National Cancer Institute carcinogenesis technical report series*.p.252.
- UTZ Certified. (2014). *Liste des Pesticides Prohibés et Liste des Pesticides sous Surveillance Version 1.0*.p.17.
- Van de Plassche, E. ., SchwegleA.M.G.R., Rasenberg, M., & Schouten, G. (2002). *DDT in Dicofol In Further Assessment of Persistent Organic Pollutants (Pops). Compendium of Substance-Related Information, Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, UNECE*.p.12.
- Van der Werf, H. M. G., & Zimmer, C. (1998). Un Indicateur D'Impact Environnemental De Pesticides Basé Sur Un Système Expert À Logique Floue. *Courrier de L'environnement de l'INRA*, 34, 47–66.
- Van Hoi, P., Mol, A. P. J., Oosterveer, P., & van den Brink, P. J. (2009). Pesticide distribution and use in vegetable production in the Red River Delta of Vietnam. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(3), 174–185. <https://doi.org/10.1017/S1742170509002567>
- Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Vijayaragavan, K., Rajiv Ganthi, R., Chidambaram, S., Anandhan, P., ... Vasudevan, S. (2010). Application of water quality index for

Références bibliographiques

- groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 171(1–4), 595–609. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1302-1>
- Verro, R., Finizio, A., Otto, S., & Vighi, M. (2009). Predicting Pesticide Environmental Risk in Intensive Agricultural Areas . I: Screening Level Risk Assessment of Individual Chemicals in Surface Waters. *Environmental Science & Technology*, 43(2), 522–529. <https://doi.org/10.1021/es801855f>
- Vlcek, V., & Pohanka, M. (2012). Carbamate insecticides in the Czech Republic: health and environmental impacts. *Military Medical Science Letters*, 81(1), 2–8.
- Voltz, M., Alix, A., Barriuso, E., Bedos, C., Bonicelli, B., Caquet, T., ... Gril, J. (2005). Chapitre 3 Devenir et transfert des pesticides dans l'environnement et impacts biologiques. In *Pesticides, agriculture et environnement* (pp. 1–219).
- Vonberg, D., Vanderborght, J., Cremer, N., Pütz, T., Herbst, M., & Vereecken, H. (2014). 20 years of long-term atrazine monitoring in a shallow aquifer in western Germany. *Water Research*, 50, 294–306.
- Vryzas, Z., Papadakis, E. N., Vassiliou, G., & Papadopoulou-Mourkidou, E. (2012). Occurrence of pesticides in transboundary aquifers of North-eastern Greece. *Science of the Total Environment*, 441, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.074>
- Vulliet, E., Wiest, L., Baudot, R., & Cren-olivé, C. (2010). Les méthodes multi-résidus : Définition , performances et enjeux. *CNRS, Service Central d'Analyse Du CNRS, USR59, Solaize, France*.p.20.
- Wang, F., Jiang, X., Bian, Y.-R., Yao, F.-X., Gao, H.-J., Yu, G.-F., ... Schroll, R. (2007). Organochlorine pesticides in soils under different land usage in the Taihu Lake region, China. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 19(5), 584–590. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60097-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60097-7)
- Wang, Y., Guo, S., Xue, R., Qi, S., Xu, Y., Xue, B., & Yuan, D. (2011). Organochlorine pesticides in the soil of a karst cave in Guilin, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 180, 489–500. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1801-0>
- WHO. (2010). *The Who Recommended Classification of Pesticides By Hazard and Guidelines To Classification 2009*. World Health Organization.p.60. <https://doi.org/ISBN 978 92 4 154796 3>
- Yu, S. J. (2015). *The Toxicology and Biochemistry of Insecticides, Second Edition* (CRC Press).
- Yunlong, Y., Xiaoqiang, C., & Guohui, P. (2009). Effects of repeated applications of fungicide carbendazim on its persistence and microbial community in soil. *Journal of Environmental Sciences*, 21, 179–185. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074208622482>
- Yurtkuran, Z., & Saygı, Y. (2013). Assessment of Pesticide Residues in Karaboğaz Lake from Kızılırmak Delta, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91(2), 165–170. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1037-0>
- Zaouani, M. (2010). *Contribution à l'évaluation de la toxicité aigue et subchronique d'un*

Références bibliographiques

produit phytosanitaire (Proclaim) chez le Rat Wistar. Université Badji Mokhtar-Annaba. Mémoire de Magister. p.122.

Zhang, W., Jiang, F., & Ou, J. (2011). Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 1(2), 125–144.

Webographie

Algérienne des phytosanitaires : <http://alphyt.com/?p=produit&lang=fr> (Consulté le 07/10/2016 à 21 :37).

Archives de documents de la FAO : <http://www.fao.org/docrep/008/y5953f/y5953f0b.htm>

Association française de normalization: <https://www.iso.org/fr/member/1738.html>

Basel convention (convention de Bâle) : <http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesSignatories/tabid/4499/Default.aspx>

Bio-Pesticides DataBase (BPDB) : <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/bpdb/index.htm>

Codex alimentarius (Normes alimentaires internationales) : <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-home/fr/>

EPA (US Environmental Protection Agency) : <https://www.epa.gov/reducing-pesticide-drift/pesticide-volatilization>

FAOSTAT : <http://faostat3.fao.org> (Consulté le 06/10/2016 à 21 :00).

LENNTech (Normes): <http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm>

OMS (Organisation Mondiale de la Santé) : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/fr/>

Organisation internationale de normalisation: <https://www.iso.org/fr/standards.html>

Observatoire des résidus de pesticides: <http://www.observatoire-pesticides.fr/index.php?pageid=393>.

Pesticides Properties DataBase (PPDB) : <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

Rotterdam convention: <http://www.pic.int/LesPays/Etatdesratifications/tabid/1759/language/fr-CH/Default.aspx>

Stokholm convention: <http://chm.pops.int/Home/tabid/2121/Default.aspx>

Veterinary Substances DataBase (VSDB): <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/vsdb/index.htm>

Worldatlas : <http://www.worldatlas.com> (Consultée le 07 Octobre 2016, 18 :30).

Annexes

Annexe 1

Tableau : Les Top 10 et le Top 20 des firmes des produits agrochimiques au niveau mondial selon ventes (en milliards de US \$) en 2000, 2007 et 2013 respectivement.

*Top10-2000			**Top10-2007			***Top20-2013					
N°	Compagnies	Ventes	N°	Compagnies	Ventes	N°	Compagnies	Ventes	N°	Compagnies	Ventes
1	Syngenta (Suisse)	6,100	1	Bayer	7,458	1	Syngenta	10,923	11	UPL (anciennement United Phosphorus) (Royaume Unis)	1,715
2	Monsanto(USA)	4,100	2	Syngenta	7,285	2	Bayer CropScience	10,420	12	Arysta LifeScience	1,503
3	Aventis (France)	3,400	3	BASF	4,297	3	BASF	6,943	13	Cheminova (India)	1,101
4	BASF (Allemagne)	3,400	4	Dow AgroSciences	3,779	4	Dow AgroSciences	5,544	14	Wynca Chemical (Chine)	0,578
5	DuPont(USA)	2,500	5	Monsanto	3,599	5	Monsanto	4,521	15	Zhejiang Jinfanda Biochemical (Chine)	0,575.5
6	Bayer (Allemagne)	2,100	6	DuPont	2,369	6	DuPont	3,557	16	Huapont-Nutrichem (Chine)	0,574
7	Dow AgroSciences (USA)	2,100	7	Makhteshim Agan	1,895	7	Adama (Makhteshim- Agan)	2,876	17	Sichuan Leshan Fuhua Tongda Agro- chemical Technology (Chine)	0,552.7
8	Makhteshim- Agan(Israël)	0,675	8	Nufarm (Australie)	1,470	8	Nufarm	2,183	18	Kumiai Chemical (Japan)	0,506
9	Sumitomo(Japon)	0,625	9	Sumitomo	1,209	9	FMC	2,146	19	Ishihara Sangyo Kaisha (Japan)	0,503
10	FMC (USA)	0,575	10	Arysta Lifescience (Japon)	1,035	10	Sumitomo	2,052	20	Sipcam-Oxon (Italie)	0,501
Total		25,200	Total		34,396	Total10		51,165			
						Total20		59,270			

*(IUF/UITA/IUL, 2001), **Source: Agrow World Crop Protection News, August 2008, ***<http://news.agropages.com/News/NewsDetail---13350.htm>.(07/10/2016 :16 :00)

Annexe 2

Tableau : Les pays siège sociaux des plus importantes firmes de l'agrochimie origines des importations algériennes.

Pays	Firmes	Pays	Firmes	Pays	Firmes
Allemagne	Bayer, BASF, Detia Degesh	Chypre	Agrimatco Ltd	Liban	Societe Industrielle Adonis SAL
Suisse	Syngenta, Atlas Agro,	Italie	Sicit 200 SPA	Emirates Arabes Unies	Anglo Gulf Ltd
France	Agriphar, Rivale, Arysta, Limagri, Cheminova, Vetagro, Compagnie générale des insecticides	USA	DuPont, DowAgroScience	Jordanie	Vapco, MedMac, Mobedco, The Arab Pesticides and Veterinary MFG. Co
Espagne	Porporas SA, Proplan, Sipcarn Inagra, Mediteranea Savia Agricola SA, Industrias Afrasa SA, Alcotan SA, Altinco SL, Industrial Quimica Key, IQV, Ender Iberica SA, Zell Chemie International, Lainco SA, San Alf Quimicas, Bioiberica, Tratamientos Guadalquivir SL	Inde	UPL, Heranba, Sharda International, Rallis, Tagros Chemicals, SBM, Sulphur Mills limited, Swal Corporation Limited,),	Chine	Topsen Biotech, Hubei Kangxin Agro-Industry Co.Ltd, Jiansu Yanganong Chemical, Nanpu Ecological Industria Park Pucheng, Rotam Agrochemical Co Ltd
Royaume-Unis	ATI, Hockley International Ltd, Pelgar International	Arabie Saoudite	The Arab pesticide, Astrachem, Astra Industrial Complex Co Ltd	Egypt	KZpesticides/ Chemicals Co
Pays-Bas	Aako BV, Crompton	Japan	Nihon Nohyaku Co.Ltd,	Australie	Agrichem

Annexe 3 : le « Questionnaire »

Nom agriculteur : tél :

SAT : (ha) SAU : (ha)

Daïra : Commune : Lieux dit :

1. Critères physiques				2. Critères sociaux							
Sol		Nappe		Même exploitation		Statut					
Perméable	N. perméable	Nombre de forages :		Oui	Non	Propriétaire	Année	Gérant	Année	Locataire	
		Type	Coût /saison /serre								
		Année	Prof.(m)							Serres	
		For.1								Eau	
Analyse des sols		For.2								Terre	
Oui	Non	Analyse Eau :								Matériel	
Si oui où ?.....		Oui :								Electricité	
Quand ?.....		Non :									

3. Système étudié

Nombre de serres		Occupation des serres sur la même parcelle		Nombre de serre/type de culture/campagnes			Irrigation		
S.Tunnel	Grde.serres				2012	2013	2014	G à G	gravitaire
		1 an		Tomate					
		2 ans		Piment					
		3 ans		Poivron					
		4 ans		Courgette					
		5 ans		concombre					
		>5 ans		Aubergine					
				Melon					

Campagne 2013 – 2014 : Production existante

Production végétale (ha)		Production animale (Tête)	
Cultures maraichères sous serre		Ovin	
Cultures en plein champs		Caprin	
Céréales		Bovin	
Palmier dattier		Camelin	
Arboriculture fruitière (Superficie (ha)/Nombre de pieds)	Oliviers	Volailles	
	Abricotiers		
	Figuiers		
	Agrumes		
		Apicultures (nombre de ruches)	

Rotation agricole sous serre :

Année 1 20../20..	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Année 2 20../20..	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Année 3 20../20..	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Rotation agricole hors serre :

Année 1 20../20..	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Année 2 20../20..	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Année 3 20../20..	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Travail du sol :

N°	Opérations		Période	Quantité (Kg/serre)	équipements utilisés		Nombre de passage	Heures de travail
1	Epandage de la fumure organique	bovin						
		ovin						
		volailles						
2	Epandre la fumure minérale de fond							
3	Apport de chaux							
4	Apport sable							
5	Labour de 25 à 30 cm de Profondeur				Charrue à socs			
					Cultivateur			
6	Ameublissement de sol				Cover-crop			
					Mélangeur			
7	Laisser le sol reposer/Jachère							
8	Confection des billons							

Matériel et équipements agricoles :

Opération	Nom du matériel	Propriétaire	Locataire	
			Coût /l'heure	Nombre d'heure/campagne
Travail du sol	Charrue à socs			
	Cover-crop			
	Chisel			
	Mélangeur			
	Tracteur			
	Semoir			
Traitement phytosanitaire	Pulvérisateur à dos (16L)			
	Pulvérisateur à moteur			

Installation et déplacement des serres :

N°	Opérations par serre	Période (mois)	Coût (DA) Main d'oeuvre	Nombre d'ouvrier/serre	Nbr. Heures de travail /serre
1	Montage squelette d'une serre				
2	Fil galvanisé				
3	Bâchage /bâche d'une serre				
4	Débâchage d'une serre				
5	Déplacement d'une serre				

Coût d'équipement d'une serre tunnel

Equipement/Matériaux	Quantité/serre	Coût/serre (DA)
Armature/Squelette métallique		
Plastique		
Fil de Fer galvanisé		
Fil d'attache en fer (plus fin)		
Fil de palissage (en plastique)		

Règle de décision (RDD): (choix des variétés) : choisir parmi la liste suivante (ne portez sur le tableau que le numéro de la /les réponse (s) et par ordre d'importance) **1.** Résistance aux maladies, **2.** Calibre, **3.** Coût de semence, **4.** Conseillée par le vendeur, **5.** Demande du marché, **6.** Exigences de la culture, **7.** Habitude, **8.** Autre (à précisez).....

Variétés Cultivées (à préciser)	Règle de décision*(choix des variétés)	Provenance/Production des jeunes plants	Coût plant (DA)
Tomate Var.1 : Var.2 : Var.3 :		- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché	
Piment Var.1 : Var.2 : Var.3 :		- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché	
Poivron Var.1 : Var.2 : Var.3 :		- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché	
Courgette Var.1 : Var.2 : Var.3 :		- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché	
Melon Var.1 : Var.2 : Var.3 :		- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché	
Autre : Var.1 : Var.2 : Var.3 :		- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché	

Opérations d'entretien/Culture dominante :

N°	Opérations	Distance de plantation (cm)		Période (mois)	Nombre d'heure de travail/Jour/serre	Coût (DA) main d'œuvre/serre
		Entre rangs	Entre plants			
1	Semis		 Début : Milieu : Fin :		
2	Plantation		 Début : Milieu : Fin :		
3	Ebourgeonnage/ Eclaircissage des fruits					
4	Effeuilage					
5	Palissage					
6	Tuteurage					
7	Taille					
8	Application de chaux ou d'argile sur le plastique					
9	Gestion des mauvaises herbes	Binage				
		Herbicides sélectifs				
		Paillage plastique				
10	Aération		Saison	Nombre d'heures H/nuit		

Fertilisation :

Type	Produits	Dose Quantité/serre (Kg/L)	Nombre d'apport/serre/campagne	Durée entre deux apports	Période (mois ou stade)	Coût (DA)/serre
Engrais	Phosphate 46%					
	15.15.15					
	20.20.20					
	12.12.36					
	12.12.44					
	L'Urée 46%					
	42.10.10					
	10.52.10					
Acides Humiques						
Acides aminés, stimulateurs et Oligo-éléments	Chélates de fer					
	Calcium					
	Bore					
	Oligo-éléments					
	Algues					
	Stimulateurs de croissance					
	Stimulateurs de nouaison					
Autre (à préciser)						

Irrigation :

Caractéristiques du système d'irrigation

Bassin		Lignes				Goutteurs		Marque de la gaine
Type	Dimensions (Volume)	Type de disposition	Emplacement	Espacement (cm)	Nombre/serre	Espacement (cm)	Débit (l/h)	
En terre		Jumelées	Enterrées				
Construit		Séparées	En surface				
Coût d'installation d'un réseau d'irrigation par serre (DA) :.....								

Gestion de l'irrigation

Période	Nombre d'heures d'irrigation	Fréquence (jours)	Motif du choix de la fréquence
Automne (Sept-Nov)			<ol style="list-style-type: none"> 1. Sol 2. Etat de la plante 3. Climat 4. Habitude 5. Tour d'eau
Hiver (Déc-fev)			
Printemps (Mars –Avril)			
Eté (Mai –Juin)			

Traitements phytosanitaires :

Cible		Nom du Produit	Dose/serre	Fréquence/campagne	Stade de culture/Période (mois)	Coût du produit (DA)
Ravageurs	1. Mouche blanche	1. 2.				
	2. Puceron	1. 2.				
	3. Acariens	1. 2.				
	4. Ver blanc	1. 2.				
	5. La Mineuse (<i>Tuta absoluta</i>)	1. 2.				
	6. Nématode	1. 2.				

	7. Noctuelle	1. 2.				
Maladies	1. Oïdium	1. 2.				
	2. Mildiou	1. 2.				
	3. TYLCV	1. 2.				
	4. Fusarium	1. 2.				

Raisons du choix du produit	<ul style="list-style-type: none"> - Par habitude - Conseils (vendeur, autre agriculteur)/efficacité - Coût d'achat du produit
Que portez-vous lors des traitements ?	<ul style="list-style-type: none"> - Masque - Gants - Lunette - Tenue
Que faites-vous des restes de cuves ?	<ul style="list-style-type: none"> - Réutiliser sur plantes - Déverser sur le sol
Que faites-vous de l'eau de rinçage ?	<ul style="list-style-type: none"> - Réutiliser sur plantes - Déverser sur le sol

Récolte & Vente :

Culture	Nombre de récolte/serre/campagne	Rendement/serre/campagne Tonnage (qx) ou coût (DA)	Coût du Transport (DA)/campagne	Prix moyen de vente (DA/Kg) ou fourchette des prix
Tomate				
Piment				
Poivron				
Courgette				
Concombre				
Melon				
Aubergine				

Quels sont les principaux problèmes qui entravent le développement de l'agriculture au Ziban ?

- * La main d'œuvre
- * Ressources hydrique : Pénurie, qualité
- * La salinité
- * Les maladies et ravageurs
- * Le manque en superficie
- * Le coût élevé de la semence et des intrants chimiques (engrais, pesticides)
- * Les Conditions climatiques (ex. Vents)
- * Autres (à préciser)

Merci pour votre collaboration

Annexe 4

Tableau : Codage des variables pour la CAH.

Variables_code	Description	Réponses
SSS	Superficie Sous serre exprimé en ha.	Quantitative, numérique, chiffre
Fm_tp	Type de fumure organique utilisée	Qualitative : 1 : Ovin, 2 : Bovin, 3 : Volailles, 4 : Ovin + Bovin, 5 : Ovin + Volailles, 6 : Bovin + Volailles, 7. Ovin + Bovin + Volailles.
Nbr_SA_T	Nombre de substances actives totales déclaré.	Quantitative, numérique, chiffre
Nbr_trt_pes	Nombre de traitements pesticides déclaré pendant un cycle cultural.	Quantitative, numérique, chiffre
Ocp_ser	Nombre d'année successive d'occupation d'une serre sur le même emplacement (parcelle).	Quantitative, numérique, chiffre : 1 : 1an, 2 : 2ans, 3 : 3 ans, 4 :>3ans.
Comm	Commune	1 : MZ, 2 : AN, 3 : SO, 4 : EG, 5 : D, 6 :L
Orig	Origine	1 : Locale, 2 : du Nord/d'autres wilaya (pays)
Stat	Statut foncier	1 : propriétaire, 2 : locataire, 3 : gérant
Rot	Rotation intra-annuelle	1 : oui, 2 : non
Cult_prn	Culture principale	1 : tomate, 2 : piment, 3 : poivron, 4 : courgette, 5 : aubergine, 6 : melon.
Moi_rpgg	Mois de repiquage (transplantation/mise en place de la culture)	1 : Juillet, 2 : Août, 3 : Septembre, 4 : Octobre, 5 : Novembre, 6 : Décembre, 7 : Janvier, 8 : Février, 9 : Mars.
Plg	Paillage plastique sur sol sous serre.	1 : oui (à fait ou déjà fait), 2 : non

Annexe 5

Tableau : Liste des 22 produits faisant l'objet de retrait d'homologation.

N°	Substance active	Spécialité
1	Acéphate	insecticide
2	Amitraze	acaricide
3	Bromoxynil	herbicide
4	Cadmium et ses composés	Composés inorganiques
5	Carbaryl	insecticide
6	Carbofuran	insecticide
7	Carbosulfan	insecticide
8	Composées d'Arsenic	Composés inorganiques
9	Composés de mercure	Composés inorganiques
10	Dicofol	acaricide
11	DNOC (dinitro-ortho-cresol) et ses sels (ammonium, potassium, sodium)	Insecticide et herbicide
12	Endosulfan	insecticide
13	Fenthion	Insecticide, avicide et acaricide
14	Fenvalerate	Insecticide, acaricide
15	Hydrazide maléique et ses sels	Composés organiques
16	Malathion	Insecticide, acaricide
17	Méthomyl	insecticide
18	Paraquat	herbicide
19	Parathion-Méthyle (Méthyle parathion)	insecticide
20	Phosalone	Insecticide, acaricide
21	Trichlorfon	insecticide
22	Zinèbe	Fongicide

(DPVCT : Direction de la protection des végétaux et des contrôles techniques, Décembre.2013).

Annexe 6

Tableau: Type et Quantités moyennes d'engrais et d'oligo-éléments (Kg/serre ou *L/serre)/cycle, apportés par les agriculteurs enquêtés et quantités (calculées) de N, P₂O₅ et K₂O (en gramme) correspondantes aux plus importants d'entre eux.

Type d'engrais	Quantité moyenne/serre/cycle	Quantité N (g)	Quantité P ₂ O ₅ (g)	Quantité K ₂ O (g)	Quantité moyenne par commune/serre/cycle					
					MZ	AN	SO	EG	D	L
20.20.20	15	3000	3000	3000	29	10	10	15	15	11,5
Urée 46%	≈4	1840	-	-	13	3	0,5	4	1,5	0
P46%	6	-	2760	-	10	3	2	5	11	4
10.52.10	3	300	1560	300	9	2	1	3	4	1
15.15.15	≈22	3300	3300	3300	8	19,5	24	26	21	33
12.12.44	4	480	480	1760	7	2	3	1	4	7
42.10.10	≈2	840	200	200	6	0,5	0	0,25	2	2
12.12.36	6	720	720	2160	5	8	5	4	8	5,5
17.44.00	≈0,5	85	220	0	1	0,5	0	0	0	0,5
Total		10565	12240	10720						
Partner	≈3	Exemple de calcul: Un engrais de type N.P.K et de formule 20.20.20 contient dans chaque Kg : 20% ou 200 grammes de chaque élément (N, P ₂ O ₅ et K ₂ O) ce qui signifie que 0,5 Kg d'un engrais de type NPK de formule 17.44.0 en contient 0,5*170g (N) + 0,5*440g (P) + 0,5*(0).			2	5	3	0	2	3
Acide Humique*	≈2				3	1	0,5	3	1,5	1,5
Ca+B*	≈2				5	2	1	2,5	1	0,5
Fe	≈2				1,5	1,5	2	3	1	2
Olégo Eléments*	≈1				2	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5

Annexe 7

Tableau : Prix (DA) des engrais utilisés en cultures maraîchères sous serre au Ziban d'après les enquêtes.

Formule Engrais	Prix unitaire (DA)	Unité	Observation	Formule Engrais	Prix unitaire (DA)	Unité	Observation
20-20-20	400	Kg		42-10-10	240	Kg	
20-20-20	600-700	Kg	Marque « Activeg »	12-61-0/	12000	Quintal	MAP Monoammoniaquephosphate
18-11-59	400	Kg		Chelate de Fer	1200-2000	Kg	
27-27-27	400	Kg		Bore-Calcium	1000	L	
16-08-24	400	Kg		Olégo-éléments	1000-1500	L	
15-15-15	8500	Quintal		Acide humique	350	L	
Phosphore 46%	250	Kg		00-34-54	250	Kg	
Urée 46%	5500-7500	Quintal	Le prix est dû à la différence entre locale et importée	Suprafer	370		Hormone/Pollinisateur
KC1/KC2/KC3	400-500	Kg	biostimulants	Naoures	300-400	Kg	20-20-20, 12-12-36, 12-12-44, 30-10-10
12-12-18	9000-10000	Quintal	Partner : Rabrab (Seviagro)	Démarrage	300-400	Kg	10-52-10, 15-30-15 17-44-00 (Poudre soluble)

Annexe 8

Tableau : Spécialités commerciales déclarées par les agriculteurs enquêtés des six communes et les familles chimiques et SA correspondantes.

Familles chimiques (Entre parenthèses : le nombre de SA que la famille regroupe)	Spécialités commerciales	Substances actives	Usage (I, F, A, H)	Nombre d'enquêtés l'ayant mentionnée/commune						Importance de la SA
				MZ	AN	SO	EG	D	L	
Acétamide (1)	Curzate M*, Cuprosate Gold**	Cymoxanil	F	3	7	0	0	0	5	15
Anthranilic diamide (1)	Coragen, Voliam Targo*	Chlorantraniliprole	I	4	3	0	0	1	4	12
Anilinopyrimidine (1)	Switch*, Chorus	Cyprodinil	F	1	0	0	2	0	2	5
Avermectine (2)	Vertimec, Transact, Zoro, Voliam Targo, Abamectin, Tina, Abanutina, Vapcomic, Medamec	Abamectine	A, I	10	13	8	7	11	9	58
	Proact, Proclaim,	Emamectin benzoate,	I	4	3	0	0	4	4	15
Benzamide (1)	Electis	Zoxamide	F	0	1	0	0	0	0	1
Benzimidazole (2)	Majestin,	Carbendazim	F	3	2	0	0	0	0	5
	Pelt, Methylthiophanate, Vapcotop,	Methylthiophanate	F	3	2	2	0	2	2	11
Carbamate (7)	Mancozèbe, Curzate M, Ridomil Gold*, Cuprosate Gold, Electis*, Fortune*	Mancozèbe,	F	4	4	0	1	1	3	13
	Mantop, Cuprosan**	Manèbe	F	0	2	3	0	0	2	7
	Lannate, Methomyl	Méthomyl	I	2	1	0	0	0	0	3
	Vydate,	Oxamyl	I	1	0	0	0	0	0	1
	Prevecur*,	PropamocarbhCl	F	1	1	2	0	0	0	4
	Propicone, Antracol	Propinèbe	F	0	2	1	0	1	2	6
	Toutia, Cuprosan	Zinèbe	F	0	0	0	1	0	3	4
Carboxamide (1)	Hexyzox,	Hexythiazox	A	1	1	0	0	0	0	2
Chloronitrile (1)	Bravo, Folio Gold*, Priori Opti*	Chlorothalonil	F	4	1	0	0	0	0	5
Diacylhydrazine (1)	15	Tebufenozide	I	0	1	0	0	1	0	2
Dicarboximide (1)	Ippon,	Iprodione	F	2	0	0	0	0	0	2
Dinitrophénol (1)	Sabithane	Dinocap	F	1	0	0	0	0	0	1
Formamidine (1)	Mitac, Bey Bey, Rotraz	Amitraz	A	2	3	1	1	1	1	9
Néonicotinoïdes (4)	Mospilan, Acetaplan, Picador, Mospilate, Vapcomor, Rustilan, wide	Acétamipride	I	6	4	1	6	8	8	33
	Confidor, Comodor, Imidor, Commando, Imiguard,	Imidacloprid	I	6	3	1	3	0	0	13
	Proteus, Calipso	Thiacloprid	I	0	0	1	0	1	0	2
	Actara, Engeo*	Thiamethoxam	I	1	2	0	0	0	0	3
Organochlorés (2)	Thiodan, Prosulfan, Spendos	Endosulfan	I	6	3	1	1	2	3	16
	Rivafol, Dicofor	Dicofol	A	2	0	1	2	0	1	6
Organophosphorés (4)	Dursban,	Chlorpyrifos-éthyl	I	4	2	5	1	0	1	13

	Diazinon	Diazinon	I	0	1	0	2	0	3	6
	Mocap	Ethoprophos	I	0	0	0	3	3	4	10
	Aliette flash, Prevecur,	Fosétyl-alluminium	F	2	2	4	0	0	0	8
Oxadiazine (1)	Avaunt, Arizonate	Indoxacarbe	I	5	7	1	2	2	4	21
Oxazole (1)	Tachigazole	Hymexazol	F	1	1	0	0	0	0	2
Phenylamide (2)	Ridomil Gold, Fortune	Métalaxyl	F	4	1	0	1	0	3	9
	Folio Gold	Métalaxyl-M	F	6	1	0	1	0	0	8
Phenylpyrrole (1)	Switch	Fludioxonil	F	1	0	0	1	0	2	4
Pyréthrinoïdes de synthèse (5)	Rufast	Acrinathrine	A	0	1	0	0	1	0	2
	Sherpa, Cypra, Arrivo,	Cyperméthrine	I	3	5	2	0	0	1	11
	Decis, Proteus*	Deltaméthrine	I	1	2	1	1	1	1	7
	Phoenix, Topgun, Engeo, Karaté, Rider	Lambda cyhalothrine	I	4	1	2	2	1	1	11
	Force	Tefluthrine	I	1	0	0	0	1	0	2
Quinoline (1)	Beltanol-L	Quinazol/ Quinosol	F	1	3	0	0	0	0	4
Spinosyns (1)	Tracer,	Spinosad	I	1	0	0	0	0	2	3
Strobilurines (4)	Ortiva, Amistar, Priori Opti	Azoxystrobine	F	4	3	0	2	1	0	10
	Stroby	Krésoxim -méthyle	F	1	0	0	0	0	0	1
	Opera Max*	Pyraclostrobin	F	0	0	0	2	0	0	2
	Flint,	Trifloxystrobine	F	1	1	1	0	0	0	3
Tetrazine (1)	Apollo	Clofentezine	A	0	1	0	0	0	0	1
Triazole (8)	Vectra, Selectra	Bromuconazole	F	0	0	2	0	0	0	2
	Amistar*, Score,	Difénoconazole	F	0	5	2	2	0	0	9
	Opera Max	Epoxiconazole	F	0	0	0	2	0	0	2
	Anvil, Hexar, Haxavil	Hexaconazole	F	0	0	2	0	0	5	7
	Sabithane*	Myclobutanil	F	1	0	0	0	0	0	1
	Topaze,	Penconazole	F	9	4	2	1	1	1	18
	Corail	Tebuconazole	F	0	1	0	0	0	0	1
Bayfidan, Vidan, Trifidan	Triadiménol	F	5	1	2	4	1	0	13	
Non classées (1)	Evisect,	Thiocyclam-hydrogène-oxalate	I	5	1	5	1	2	0	14
Composés inorganiques (3)	Cuprosate Gold, Bouillie Bordelaise	Cuivre	F	1	1	0	0	0	0	2
	Inacop, Kocide, Toutia, Cuprosan	Oxychlorure de cuivre	F	2	1	0	1	0	3	7
	Soufre, Solfo Li	Soufre	F	1	0	1	0	0	0	2
Totaux : 28	105	60								

*Spécialités commerciales pesticides contenant 2 substances actives, ** Spécialités contenant 3 substances actives. I : insecticide, A : acaricide, F : fongicide, H : herbicide

Annexe 9

Tableau : Statut réglementaire au niveau algérien et européen des SA signalées par les agriculteurs enquêtés.

SA	Statut		SA	Statut		SA	Statut	
	Algérien*	Européen**		Algérien	Européen		Algérien	Européen
Cymoxanil	a	a	Amitraz	rr	na	Tefluthrine	a	a
Chlorantraniliprole	a	a	Acétamipride	a	a	Quinozol	a	a
Cyprodinil	a	a	Imidacloprid	a	a	Spinosad	a	a
Abamectine	a	a	Thiacloprid	a	a	Azoxystrobine	a	a
Emamectin benzoate,	a	a	Thiamethoxam	a	a	Krésoxim - méthyle	a	a
Zoxamide	a	a	Endosulfan	rr	na	Pyraclostrobin	a	a
Carbendazime	a	na	Dicofol	rr	na	Trifloxystrobine	a	a
Methylthiophanate	a	a	Chlorpyrifos-éthyl	a	a	Clofentezine	a	a
Mancozèbe,	a	a	Diazinon	a	na	Bromuconazole	a	a
Manèbe	a	a	Ethoprophos	a	a	Difénoconazole	a	a
Méthomyl	rr	a	Fosétyl-alluminium	a	a	Epoxiconazole	a	a
Oxamyl	a	a	Indoxacarbe	a	a	Hexaconazole	a	na
PropamocarbHCl	a	a	Hymexazol	a	a	Myclobutanil	a	a
Propinèbe	a	a	Métalaxyl	a	a	Penconazole	a	a
Zinèbe	rr	na	Métalaxyl-M	a	a	Tebuconazole	a	a
Hexythiazox			Fludioxonil	a	a	Triadiménol	a	a
Chlorothalonil	a	a	Acrinathrine	a	a	Thiocyclam-hydrogen-oxalate	a	na
Tebufozide			Cyperméthrine	a	a	Cuivre	a	a
Iprodione	a	a	Deltaméthrine	a	a	Oxychlorure de cuivre	a	a
Dinocap	a	na	Lambda cyhalothrine	a	a	Soufre	a	a

*Selon Index phytosanitaire 2015, ** Selon la PPDB, a : approuvée, na : non approuvée, rr : retirée récemment (2013).

Annexe 10

Tableau : Liste des firmes de l'agrochimie auxquelles appartiennent les spécialités commerciales signalées par les agriculteurs enquêtés.

Firmes	Spécialités commerciales	Firmes	Spécialités commerciales
AGRIA S-A BULGARIA	Cuprosate Gold	LIMAGRI	Dicofol, Rivafol,
ALPHYT	Lambda-Cyhalothrine, Toutia,	MEDMAC	Majestin50WP, Medamec,
ARYSTA	Evisect, Mospilan	MOBEDCO	Mospilate,
ASTRACHEM	Hexar ,Transact18EC, Soufre	MOBIDCO/MIDEAGRI	Arrivo,
AVENTIS	Mitac,	PHYTOPLUS	Arizonate, Rustilan, Trifidan.
BASF	Stroby, Rotraz,	PORPORAS SA/SALPA AGRICULTURE	Abanutina,
BAYER	Thiodan, Pelt, Decis, PROTEUS, Bayfidan, Confidor, Flint, Aliette flash, Prevecur, Corail, , Vectra, Calypso, Cuprosan, Antracol	PROBELT	BELTANOL-L
CALLIOPE	Methylthiophanate, Solfo LI,	QUIMICA KEY	Tina
CAPISCOL	Sherpa	RIVALE	Aceplan, Mancozèbe, Rivafol, Cypra, Selectra, Haxavil,
CEREXAGRI	Bouillie Bordelaise	SYNGENTA	Vertimec, Topaze, Ortiva, Amistar, Actara, Bravo, Ridomil Gold MZ, Folio Gold, Proclaim, Switch, Engeo,
CHEMINOVA	Rufast, Zoro	TABUK	Imidor, Soufre
CHIMAC AGRIPHAR	Apollo, Ippon	VAPCO	Phoenix, Commando, Tachigazole, Diazinon, Vapcomic, Vapcotop, Vidan, Propicone, Vapcomor,
DOW AGRO SCIENCE	Dursban, Sabithane,	VET AGRO	Picador, Fortune 72WP,
DUPONT	Coragen, Lannate25WP, Avaunt 150 SC, Vidate, Curzate M, Kocide 2000,		

Annexe 11

Tableau : Matières actives, noms commerciaux des pesticides, dose homologuée (DH) et dose moyenne utilisées (ml, l, g ou kg/ ha ou /hl), (en rouge et soulignés les surdosages, en vert et portant une * les sous dosages).

Substances actives (SA)	Produits Commerciaux (Concentration de la SA en g/l)	Dose de pesticide		Substances actives (SA)	Produits Commerciaux (Concentration de la SA en g/l)	Dose de pesticide		Substances actives (SA)	Produits Commerciaux (Concentration de la SA en g/l)	Dose de pesticide	
		Homologuée	Moyenne utilisée			Homologuée	Moyenne utilisée			Homologuée	Moyenne utilisée
Insecticides											
Abamectine ⁽⁵⁻⁸⁾	Voliam Targo (18)	0,3-0,45 l/ha	<u>1.96</u>	Cyperméthrine ⁽⁸⁻⁷⁾	Sherpa (250) Cypra (250) Arrivo (250)	10-20ml/hl 0,2 l/ha 25-50 ml/hl	<u>74.58</u> DH <u>125</u>	Methomyl ⁽⁹⁻⁴⁾	Lannate (250) Methomyl (200)	120-150g/hl 120-150 ml/hl	DH DH
Acétamipride ⁽⁶⁻⁵⁾	Mospilan(200) Acetaplan (200) Picador (200) Mospilate (200) Vapcomor (200) Rustilan (200) Wide (200)	20-30g/hl 10-12,5ml/hl 25-50ml/hl 10-12,5g /hl 10-30g /hl 200-300 g/ha 10-12,5 g/hl	<u>25-50</u> <u>9.44*unité</u> <u>48.4</u> 10 DH DH DH	Diazinon ⁽¹²⁻¹⁷⁾	Diazinon (100)	0,5-2 kg / 10 ³ m ²	1.56	Thiaméthoxam ⁽¹³⁻¹⁵⁾	Actara (250) Engeo (141)	600-800g/ha 200ml/ha	DH DH
Bifenthrine ⁽¹⁶⁾	Non signalée			Emamectine-benzoate ⁽²⁻³⁾	Proact (50) Proclaim (50)	200ml/ha 350g/ha	<u>765.3</u> DH	Thiocyclam-hydrogénoxalate ⁽¹⁻²⁾	Evisect (500)	0,7-1kg/ha	<u>1.195</u>
Buprofézine ⁽⁰⁻¹⁴⁾	Non signalée			Endosulfan ⁽⁴⁻¹⁾	Thiodan (35) Prosulfan (35) Spendos (35)	1,5 l/ha 1,75 l/ha 175ml/hl	<u>1.25*</u> 1.75 DH				
Chlorantraniliprole ⁽³⁻⁹⁾	Coragen (200) VoliamTargo (45)	150 ml/ha 0,3-0,45l/ha	<u>255.65</u> <u>1.968</u>	Imidaclopride ⁽⁷⁻⁶⁾	Confidor (700) Comodor (200) Imidor (200) Commando (200) Imiguard (200)	150g/ha 0,3-0,5l/ha 30-50ml/hl 0,5-1kg/ha 0,5 l/ ha	DH DH 30 DH DH				
Chlorpyriphos-éthyl ⁽¹⁴⁻¹²⁾	Dursban (50)	30- 60kg/ha	DH	Indoxacarbe ⁽¹¹⁻¹⁰⁾	Avaunt (150) Arizonate (150)	170- 250ml/ha 160-250 ml /ha	<u>1075</u> <u>291.66</u>				
Chlorpyriphos-méthyl ⁽¹⁵⁻¹³⁾	Non signalée			Lambda-cyhalothrine ⁽¹⁰⁻¹¹⁾	Phoenix (50) TopGun(50) Engeo (106) Karaté (50) Rider (100)	250ml/ha 25-60ml/hl 200ml/ha 250ml /ha 75 g/hl	DH 43.75 DH <u>2687.5</u> <u>200</u>				
Acaricides											

Abamectine ⁽³⁾	Vertimec (18) Transact (18) Zoro (18) Abamectin (18) Tina (18g/l) Abanutina (18) Vapcomic (18) Medamec (18)	0,5-1,25l/ha 75ml/hl 75ml/hl 50ml/hl 50-75 ml/hl 75ml/hl 50-70ml /hl 50 ml/hl	0.939 DH 67.16* 107.33 65.75 112.5 93.75 62.5	Dicofol ⁽¹⁾	Rivafof (480) Dicofor ((480)	100 ml/hl 50-100 ml /ha	60* 125-250	Propargite ⁽⁵⁾	Non signalée		
Amitraze ⁽²⁾	Mitac (200) Bey Bey (200) Rotraz (200)	200- 300ml/hl 200- 300ml/hl 250- 500ml/ha	100* DH DH	Fenpyroximate ⁽⁴⁾	Non signalée						
Fongicides											
Azoxystrobine ⁽⁷⁾	Ortiva (250) Amistar (200) Priori Opti (80)	1 l/ha 1 l/ha 2-2,5 l/ha	0.875* 3.125 DH	Hexaconazole ⁽⁹⁾	Anvil (50) Hexar (50) Haxavil (50)	50 ml/ hl 50 ml/ hl 30- 50 ml/ hl	DH DH 40	Penconazole ⁽⁵⁾	Topaze (100)	50ml/hl	71.87
Carbendazime ⁽¹⁾	Majestin (500)	100g/hl	DH	Hyméxazol ⁽³⁾	Tachigazole (300)	1l/ha	DH	Propamocarbe <small>(20-19)</small>	Prevecur (530)	2-2,5l/ha	2.75
Chlorothalonil ⁽⁶⁾	Bravo(720) Folio Gold (500) Priori Opti (400)	1,5-2 l/ha 2,5-3 l/ha 2-2,5 l/ha	DH 6.25 DH	Mancozèbe ⁽⁸⁾	Mancozèbe (800) Curzate M (40) Ridomil Gold (640) Cuprosate Gold (120) Fortune (640)	250g/hl 250-300g/hl 3,5kg/ha 2,5-3kg/ha 250-350g/hl	DH 200* 1.5* DH DH	Propinèbe ⁽¹⁷⁾	Propicone (800) Antracol (700)	200-250g/ hl 200-280 g/hl	250 142.85*
Cymoxanil ⁽¹⁰⁾	Curzate M (400) CuprosateGold (40)	250-300g/hl 2,5-3kg/ha	200* DH	Manèbe ⁽¹⁶⁻¹⁵⁾	Mantop (800)	2kg/ha	DH	Triadiménol ⁽⁴⁾	Bayfidan (200) Vidan (250) Trifidan (250)	30-40ml/hl 125-250 ml/hl 37 – 100 ml/ha	49.25 62.5* 687.5
Difénoconazole ⁽¹¹⁾	Amistar (125) Score (250)	1 l/ha 0,5 l/ha	3.125 1.125	Metalaxyl ⁽¹²⁾	Ridomil Gold (40) Fortune (40)	3,5kg/ha 250-350g/hl	1.5* DH	Cuivre	Cuprosate Gold (290)	2,5-3kg/ha	DH
Folpel ⁽¹⁹⁻²⁰⁾	Non signalée			Métalaxyl-M ⁽¹⁴⁾	Folio Gold (37)	2,5-3l/ha	6.25				
Fosétyl aluminium ⁽¹³⁾	Aliette flash (800) Prevecur (310)	250g/hl 2-2,5l/ha	DH 2.75	Methylthiophanate ⁽²⁾	Pelt (700) Methylthiophanate (700) Vapcotop (700)	0,5-1 kg/ha 70g/hl 75-100g/hl	0.937 125 DH				

Notes : La dose de pesticide moyenne utilisée est exprimée par la même unité que la dose homologuée du même produit commercial. 1g/hl =10g/ha. On écrit DH ou lieu de réécrire les doses homologuées en chiffres. Le calcul des sur et sous dosages est empirique, il a été calculé pour les quelques agriculteurs qui ont apporté l'information de la quantité appliquée concernant quelques produits.

Annexe 12

Tableau : Prix de vente/d'achat de quelques produits phytosanitaires entre 2013 et 2015 au niveau des Ziban (enquête, présente étude).

SA	Produits commerciaux (Prix DA/L ou DA/Kg*)	SA	Produits commerciaux (Prix DA/L ou DA/Kg*)
Abamectine	Zoro (4800), Vertimec (8000-12000), Abamectin (4000), Vapcomic (2000), Abanutina (2600), Tina (4000)	Hymexazole	Tachigazole (3000)
Acétamipride	Aceplan* (3500-4200), Mospilate* (6000)	Imidaclopride	Commando* (14000), Comodor (2000), Imidor (6400)
Acrinathrine	Rufast (16000)	Indoxacarbe	Avaunt 150 SC (20000-22000)
Amitraz	Mitac (2000-2200)	Lambda-Cyhalothrine	Phoenix (2800), Lambda-Cyhalothrine (1500)
Azoxystrobine	Amistar (4800-5000), Ortiva (8000-9500), Priori Opti (5500),	Mancozèbe- Cymoxanil-Oxychlorure de cuivre	Cuprosate Gold* (3800)
Chlorantraniliprole	Coragen (30000)	Metalaxyl	MetaGold* (4000)
Chlorothalonil	Folio Gold (3800)	Methylthiophanate	Vapcotop* (1800-2000)
Chlorpyrifos-éthy	Dursban 4(2000-2200),	Oxamyl	Vidate (3800)
Clofentézine	Apollo (11000)	Oxychlorure de cuivre	Inacop* (4800)
Cypermethrine	Arrivo (2000), Sherpa (1500-2500)	Quinosol	BELTANOL-L (6500-18000)
Deltamethrine	Decis (2000),	Penconazole	Topaze (7500-12000),
Diazinon	Diazinon* (800-900)	Propamocarbe-HCl	Prevecur (3000-3200)
Dicofol	Rivafol (3500-4200),	Propinèbe	Propinèbe* (900-1100)
Difénoconazole	Score (8000-11500)	Tefluthrine	Force* (900-1000)
Emamectine Benzoate	Proact *(16000), Proclaim* (30000),	Thiocyclam Hydrogène Oxalate	Evisect* (8000-14000-)
Endosulfan	Thiodan (2200-5000), Prosulfan (4500-5000)	Triadiménol	Bayfidan (7000-10000), Vidan (4000-7000)
Fosétyl-alluminium	Aliette flash* (3200-3800)		

*Poudre

Annexe 13

Tableau : Pesticides détectés par auto-observation lors des sorties effectuées entre 2013 et 2015.

Noms commerciaux	Sa	Usage (i, a, f, h)	Localité					
			MZ	AN	SO	EG	D	L
Abamectine 1.8 ec	Abamectine				Décembre 2015			
Apache	Abamectine	A						(juin 2013)
Transact 18 ec	Abamectine	A				(mai-décembre 2013)	Novembre 2014	(juin 2013)
Medmec 1.8 ec	Abamectine	A-i				(juin 2013)		
Abanutina	Abamectine 18 g/l	A				(juin 2013)		
Romectin	Abamectine	A, i (acariens, thrips, mineuses)					Novembre 2014	
Vertimec	Abamectine	I-a (mineuse, aleurodes, puceron)				Décembre 2013		
Tristar (250 ml)	Bifenthrine 10% ec	I (pucerons)				(mai 2013)		
Bifenquick	Bifenthrine	A-i				(juin 2013)		
Comodor 20 sl	Imidaclopride	I (noctuelles, puceron, aleurodes)				(mai-juin 2013)		
Imidor 200 sl	Imidaclopride	I (aleurodes)				(juin-décembre 2013)		
Imidagold	Imidaclopride	I				(juin 2013)		
Mospilan 20sp	Acétamipride	I (aleurodes, puceron)			Décembre 2015			
Mospilate 20% sp	Acétamipride	I (pucerons-noctuelle)			Décembre 2015	(mai 2013)		
Mosprid sp	Acetamipride	I				Décembre 2013		

Aceplan 20 sp	Acétamipride	I(mineuse/aleurode/pucerons)				(mai-juin2013)		
Picador 20% sl	Acétamipride	A				(juin-décembre 2013)	Novembre2014	
Rustilan 20sp	Acétamipride20% sp	I (mineuse/aleurode/pucerons)				(juin2013)	Novembre2014	
Wide	Acétamipride 200g/kg	I (puceron/mineuse)				(juin2013)		
Bemi-off	Acétamipride Cyperméthrine	I (mineuse/aleurode/pucerons)				(juin2013)		
Vapcomor	Acetamipride 20% sp			Janvier2014		Décembre2013		
Bayfidan 250 ec	Triadimenol	F (oïdium)		Janvier2014		(mai-juin 2013)		
Trifidan 25 wp	Triadimenol 25% wp	F (oïdium)				(mai-juin- décembre 2013)		
Trinol	Triadimenol	F (oïdium-rouille)				(juin-décembre 2013)		
Vidan-25 ec	Triadimenol	F (oïdium/moniliose/rouille)				(juin2013)		
Contaf	Hexaconazole 10ec	F				(juin2013)		
Hexar 50ec	Hexaconazole 50g/l	F (oïdium)				(mai-décembre 2013)		
Hexonate	Hexaconazole 5% sc	F(oïdium/moniliose)				(juin2013)		
Aliette flash	Fosetyl-aluminium 80%	F (mildiou)				(mai2013)		
Applaud 41 sc	Buprofezin	I (aleurodes)				(juin2013)	(mai2013)	
Phoenix	Lambdacyhalothrine 5% ec	I (cératite, nématodes)			Décembre2015			
Pulsar 2.5 ec	Lambdacyhalothrine	I (cératite des agrumes)					(mai2013)	

Impala 20 sl	Acetamidrid	I (cératite des agrumes)					(mai2013)	
Arizionate	Indoxacarbe 15%	I (cicadelle)				Décembre2013	(mai2013)	(juin2013)
Avaunt 150sc	Indoxacarbe	I (noctuelles)		Janvier2014		Décembre2013		(juin2013)
Tracer 240sc	Spinosad	I					(mai2013)	
Rotraz 200 ec	Amitraz	A					(mai2013)	
Mitac 20 ec	Amitraz200g/l	A			Décembre2015		(mai2013)	
Kazar	Manebe 80%	F (mildiou)					(mai2013)	
Aspargite	Propargite	A					(juin2013)	
Prosulfan	Endosulfan	I					(juin2013)	
Check 10 ec	Bétacyperméthrine	I (noctuelles terricoles)					(juin2013)	
Foldon	Folpel 50%	F (mildiou)					(juin2013)	
Topaze	Penconazole	F (oïdium)					(juin2013)	
Evisectes	Thiocyclamhydrogène oxalate	I (mineuse-mb-thrips)			Décembre2015		(juin2013) Novembre2014	
Diazinon	Diazinon 10%	I (pucerons-cicadelles)					(juin2013)	
Mamba 360sl	Glyphosate360g/l	H					(juin2013)	
Rivafol	Dicofol	A-i (acariens, pucerons- noctuelles-aleurodes)			Décembre2015			Juin2013
Arrivo	Cypermethrine 25%ec	I ((pucerons-cécydomie))			Décembre2015			
Sherpa 2gc	Cypermethrine 0.2% gr	I			Décembre2015			
Sparkill 25%	Cypermethrine	I (cochenilles, psylle-puceron vert, teigne)						Juin2013
Chlorpane	Chlorpyrifos-ethyl480g/l	I						Juin2013
Dursban 5g	Chlorpyrifos-ethyl	I (noctuelles et taupins)			Décembre2015			
Agrinate 25%	Methomyl	I (noctuelles défoliatrices, noctuelles terricoles)				Décembre2013		

Methomyl 25	Methomyl 25%	I		Janvier2014				
Pelt 70%	Thyophanate-methyl	F			Décembre2015			
Pelthio 70 wp	Thiophanate-methyl	F(oïdium)				Décembre2013		
Vapcotop	Thiphanate-methyl 70%	F (botrytis, pourriture grise)				Décembre2013		
Cuprosate 45wp	Cymoxanil4% Mancozeb12% Oxychlorure de cuivre29%	F (mildiou tomate)				Décembre2013		
Duett m	Cymoxanyl + mancozebe	F				Décembre2013		
Beltanol-L	-quinosol/quinozol	F	Mai2013					
Previcur e energy 840sl	Propamocarb + fosetyl- aluminium	F (mildiou)	Mai2013					
Folio-gold	Metalaxyl + chlorotalonil	F (mildiou-tomate)	Mai2013					
Propicone	Propinebe 80%	F		Janvier 2014	Décembre2015		Novembre2014	
Microthiol special wg	80% de soufre micronise atomise	F		Janvier 2014				
Proteus170od	Thiachlopride 150g/l Deltamethrine 20g/l	I			Janvier2014			
Selectra*	Bromuconazole (100g/l) sl	F			Décembre2015			
Solfo li	Soufre	F			Décembre2015			

Annexe 14

« Fiche d'échantillonnage du sol »

Date et heure :

Prospecteur :

N° d'échantillon :

Localité et lieux dit :

Site/exploitation :

Coordonnées géographiques :

N :

E :

Élévation (m):

Gérant/responsable de (des) la serre (s):

Serre (1), (2), (3) : espèce/variété cultivée:

Âge de la culture /date de plantation:

Précédent cultural:

.....

Culture suivante envisagée :

.....

Type de serre : Tunnel (400m²):.....,Multichapelle/Canarienne (≥1ha):.....

Orientation :

Type de sol : perméable.....non perméable.....

Type et date des traitements phytosanitaires effectués et engrais apportés :

Traitements phytosanitaires		Engrais apportés	
Type	Date	Type	Date

Fumier appliqué : Type : volailles :bovin :.....ovin :..... Q^{te}/serre :

Nombre d'apport de fumier:..... période :.....

Dernière date d'irrigation :

Type d'irrigation : G à G :.....à la raie:.....autre (à préciser):.....

Autres observations :

.....

Annexe 15

Valeurs références/normes d'interprétation de quelques paramètres et éléments physico-chimiques analysés dans le sol.

- **Potentiel Hydrogène (pH)**

Tableau : Les 7 « domaines » de pH dans l'eau (du sol) et les qualificatifs correspondants (Baize, 2000).

Domaine pH	Qualificatif
<3,5	Hyper acide
3,5 à 4,2	Très acide
4,2 à 5,0	Acide
5,0 à 6,5	Peu acide
6,5 à 7,5	Neutre
7,5 à 8,7	Basique
>8,7	Très basique

- **Matière organique (MO)**

Tableau : Les normes d'interprétation de la matière organique dans le sol.

MO (%)	Appréciation
0-1	Extrêmement faible
1-1,5	Très faible
1,5-2,5	Faible
2,5-3,5	Moyen
3,5-4,5	Moyen élevé
4,5-5	Elevé
>5	Très élevé

- **Capacité d'échange cationique (CEC)**

Tableau : Classe d'appréciation de la CEC des sols (Calvet et Villemen, 1986).

CEC (méq/100g de sol)	Appréciation
<6	Très faible
6-12	Faible
12-25	Moyenne
25-40	Elevée
>40	Très élevée

- **Azote total (N)**

Tableau : Classe d'appréciation de l'azote total des sols (Calvet et Villemen, 1986).

N (%)	Appréciation
< 0,05	Sol très pauvre
0,05 > N > 0,1	Sol pauvre
0,1 > N > 0,15	Sol moyen
0,15 > N > 0,25	Sol riche
> 0,25	Sol très riche

- **Calcaire total**

Tableau : Appréciations proposées par le GEPPA concernant le calcaire total.

CaCO₃ (%)	Appréciations
<1	Horizon non calcaire
1 à 5	Horizon peu calcaire
5 à 25	Horizon modérément calcaire
25 à 50	Horizon fortement calcaire
50 à 80	Horizon très fortement calcaire
>80	Horizon excessivement calcaire

Annexe 16

Détails des résultats des analyses physiques des sols étudiés

Tableau : Les différentes fractions granulométriques et la texture correspondante au sol des six sites d'étude.

Fractions granulométriques (%) Sites	Argile	Limon		Sable		Texture	
		Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier	Français	Anglais
M'Ziraa	41	29,7	12,1	14,7	2,5	Argile limoneuse	Silty clay
		41,8		17,2			
Ain Naga	19,5	24,5	14,34	31,01	10,65	Loam	Loam
		38,84		41,66			
Sidi Okba	12,25	42,15	10,55	25,95	9,1	Loam limoneux	Silt loam
		52,7		35,05			
El Ghrous	0	0	37,25	28,5	34,25	Loam- sableux	Sandy loam
		37,25		62,75			
Doucen	14,05	50,35	16,8	18,8	0	Loam limoneux	Silt loam
		67,15		18,8			
Lioua	13,25	14,25	67,74	0	4,755	Loam limoneux	Silt loam
		81,99		4,75			

- **Triangles des textures**

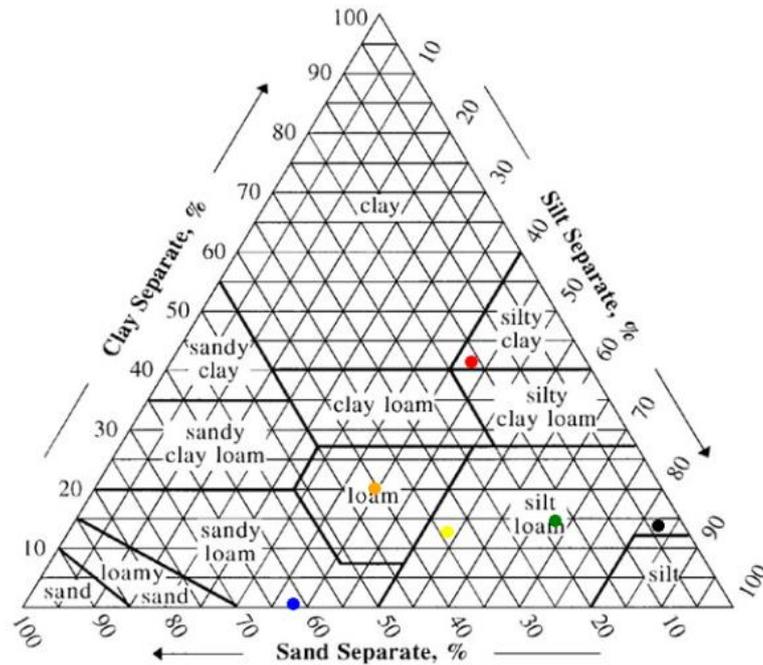


Figure : Classes texturales des sols selon le Diagramme triangulaire de l'USDA de M'Ziraa (rouge), Ain Naga (orange), Sidi Okba (jaune), El Ghrous (bleu), Doucen (vert) et Lioua (noir).

- **Taux d'argile et de matière organique**

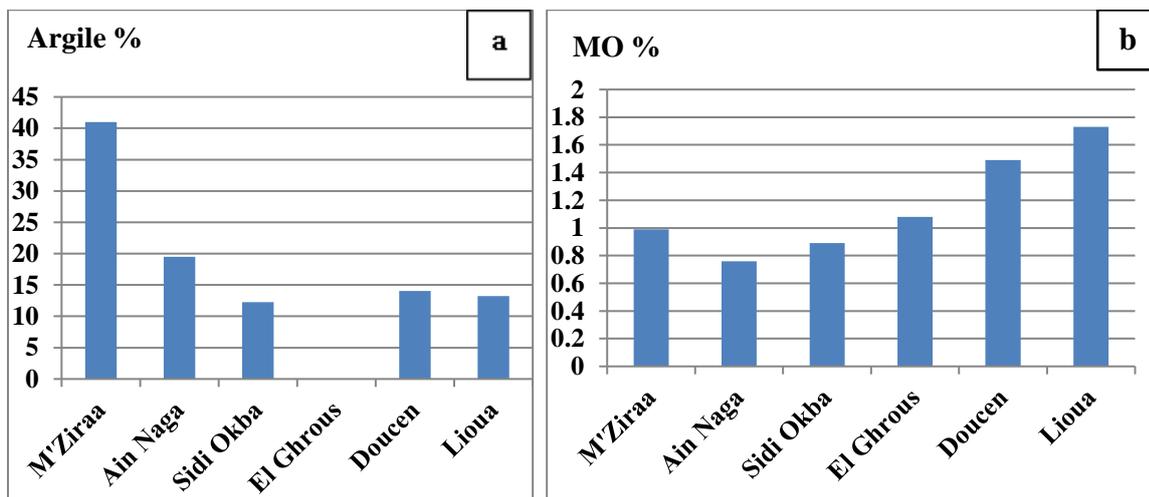


Figure : a) Taux (%) d'Argile et b) de MO des sols étudiés.

Tableau : Taux (%) du carbone et de la matière organique dans les sols échantillonnés (0-30 cm).

Sites	M'Ziraa	Ain Naga	Sidi Okba	El Ghrous	Doucen	Lioua
CO (%)	0,56	0,43	0,505	0,61	0,84	0,975
MO** (%)	0,99	0,76	0,89	1,08	1,49	1,73

**1.77X CO (%)

- **Le potentiel Hydrogène (pH_{sol})**

Tableau : pH_{sol} sous et hors serre des sols étudiés.

Sites		Ziban Est			Ziban Ouest		
Communes Sol	Profondeur (cm)	M'Ziraa	Ain Naga	Sidi Okba	El Ghrous	Doucen	Lioua
Sous serre	0-5	8,24	7,97	7,99	7,80	7,77	8,00
	5-30	8,11	8,06	8,04	7,92	7,81	8,06
Moyenne	0-30	8,17	8,01	8,01	7,86	7,79	8,03
Hors serre	0-5	7,95	8,05	8,10	7,89	/	8,08
	5-30	7,87	8,16	8,01	7,81	/	8,33
Moyenne	0-30	7,91	8,10	8,05	7,85	/	8,20
Qualificatif		basique	basique	basique	basique	basique	basique

- **La Conductivité Electrique CE_{sol} (mS/cm) à 25°C.**

Tableau : La Conductivité Electrique CE_{sol} (mS/cm) à 25°C du sol sous et hors serre.

Sites		Ziban Est			Ziban Ouest		
Communes Sol	Profondeur (cm)	M'Ziraa	Ain Naga	Sidi Okba	El Ghrous	Doucen	Lioua
Sous serre	0-5	0,89	4,29	1,92	3,97	5,76	4,02
	5-30	1,28	2,39	1,91	3,19	3,7	3,45
Moyenne	0-30	1,08	3,34	1,91	3,58	4,73	3,73
Hors serre	0-5	2,46	2,48	0,37	1,72	/	2,41
	5-30	1,43	3,77	0,40	2,22	/	3,95
Moyenne	0-30	1,94	3,12	0,38	1,97	/	3,18

- **Calcaire Total (%)**

Tableau : Taux du calcaire total (%) des sols étudiés.

Sites		<i>Ziban Est</i>			<i>Ziban Ouest</i>		
Sol	Profondeur (cm)	MZ-sol	AN-sol	SO-sol	EG-sol	D-sol	L-sol
Sous serre	0-5	32,47	31,91	23,69	9,59	13,42	12,88
	5-30	30	33,56	26,84	9,17	15,34	12,87
Moyenne calculée	0-30	31,23	32,73	25,26	9,38	14,38	12,87
Analysé	0-30	41,19	41,19	36,72	14,33	21,49	21,04
Appréciations		Horizon fortement calcaire			Horizon modérément calcaire		

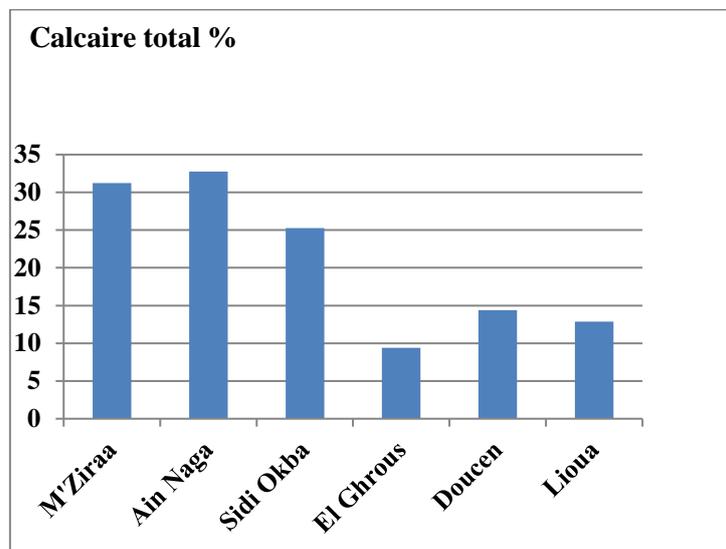


Figure : Taux (%) en calcaire total des sols étudiés.

Annexe 17

« Fiche d'échantillonnage et analyse in-situ de l'eau »

Commune et Lieux dit	Date & Heure	Nom Fellah	Coordonnées GPS puits/forages	Profondeur forage (m)	CE (mS/Cm) T (°C)	pH T (°C)	Oxygène Dissous (mg/l) T (°C)
			N : E : Elévation.....m	Prf. NS. An.	CE : T:	pH : T :	OD : T :
Observations :							
Commune et Lieux dit	Date & Heure	Nom Fellah	Coordonnées GPS puits/forages	Profondeur forage (m)	CE (mS/Cm) T (°C)	pH T (°C)	Oxygène Dissous (mg/l) T (°C)
			N : E : Elévation.....m	Prf. NS. An.	CE : T:	pH : T :	OD : T :
Observations :							

Annexe 18

Méthode d'analyse et modes opératoires des différents éléments chimiques dans l'eau

- **Dosage du Calcium**

Méthode titrimétrique à l'EDTA :

Les réactifs :

- EDTA N/50 (Acide éthylène – diamine – tétracétique)
- Indicateur coloré (Murexide)
- NaOH

Mode opératoire :

A l'aide d'une pipette jaugée, introduire une prise d'essai 50ml de l'échantillon dans un erlen de 250ml.

Ajouter 2ml de NaOH et environ 0.2g de l'indicateur calcane carboxylique.

Doser immédiatement en fin de dosage quand la couleur devient nettement violette.

Expression des résultats :

La concentration en calcium en mmol/l est donnée par la formule suivante :

$$1000. \frac{C_{EDTA} \times V_{EDTA}}{V_{éch}}$$

C EDTA : Concentration molaire de la solution d'EDTA (N/50).

V EDTA : volume en ml de chute de burette.

V éch : volume en ml de la prise d'essai.

Le résultat de ces dosages titrimétriques est donné en mmol de cations/l d'eau, en considérant qu'une mole d'EDTA complexe une mole de cation.

- **Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)**

La mesure du TH correspond à l'analyse des ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺.

Le dosage se fait par complexométrie à pH = 10 à l'aide de l'acide Ethylène Diamine Tétracétique (EDTA) en présence d'un indicateur coloré : le noir d'Erichrome T (N.E.T). La valeur du Mg⁺⁺ est déduite à partir de TH - Ca⁺⁺

Mode opératoire :

A l'aide d'une pipette jaugée, introduire une prise d'essai 50ml d'échantillon dans un erlen de 250ml. Ajouter 4ml de la solution tampon pH = 10 et 3 gouttes d'indicateur au noir d'Erichrome T. La solution doit se colorer en rouge foncé ou violet ; doser immédiatement à l'aide de la solution EDTA en agitant constamment.

Verser cette solution, rapidement au début, puis lentement vers la fin du dosage, dès que la couleur commence à virer du rouge au violet-bleu. Le dosage est terminé lorsque la dernière nuance de rouge a disparu.

Expression des résultats :

La concentration en calcium et magnésium en mmol/l est donnée par la formule suivante :

$$1000 \cdot \frac{C_{EDTA} \times V_{EDTA}}{V_{éch}}$$

C EDTA : Concentration molaire de la solution d'EDTA (N/50).

V EDTA : volume en ml de chute de burette.

V éch : volume en ml de la prise d'essai.

• **Dosage de Sodium et Potassium par spectrophotomètre d'émission de flamme**

Cette méthode physique est basée sur la propriété des atomes de passer d'un état fondamental stable à un état excité instable.

- Pour le Sodium, on utilise une solution de NaCl comme solution étalon.
- Concernant le potassium, la solution étalon est celle de KCl.

Tableau : Etalonnage pour la mesure du sodium

Etalon	0	20	40	60	80	100
[Na+] en mg/l						
Absorbance	0	36	53	69	85	100

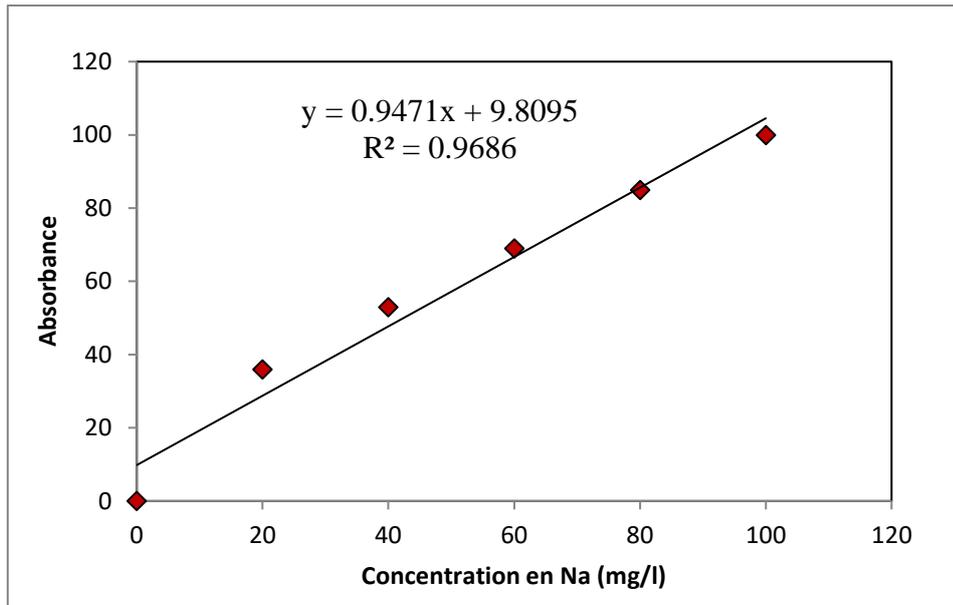


Figure : Courbe d'étalonnage du sodium

Tableau : Etalonnage du potassium

Etalon [K+] en mg/l	0	20	40	60	80	100
Absorbance	0	58	103	140	173	200

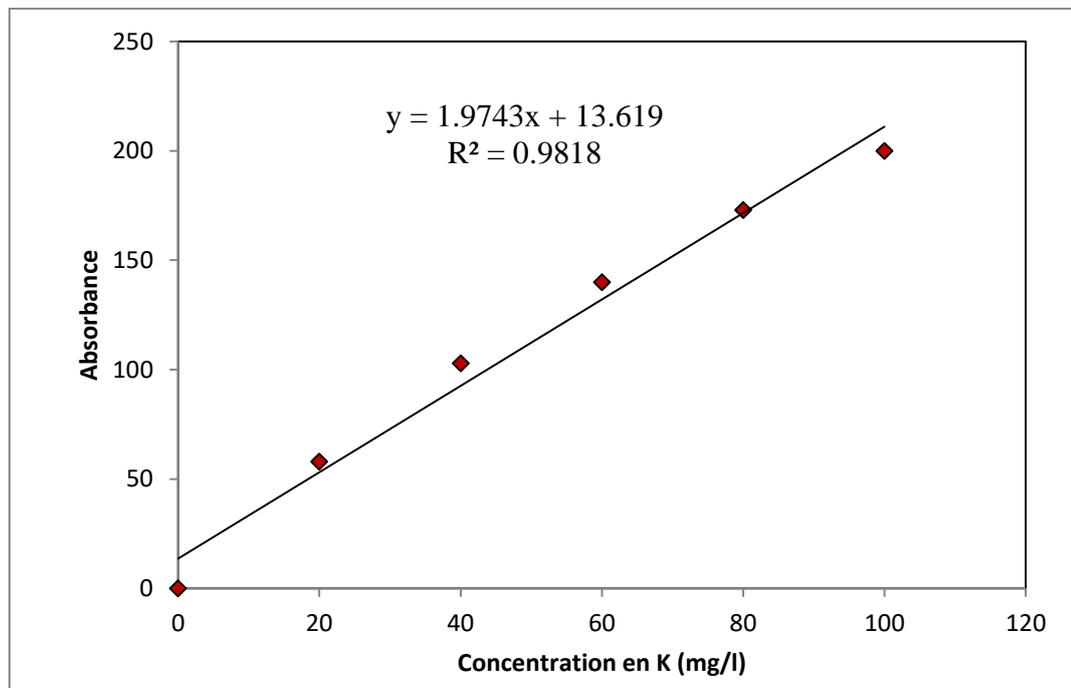


Figure : Courbe d'étalonnage du potassium

- **Dosage des chlorures**

La méthode utilisée dans ce travail est celle de MOHR (Argentométrie), les ions chlorures réagissent quantitativement avec le nitrate d'argent, avec formation de chlorure d'argent. On utilise le chromate de potassium K_2CrO_4 comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Les réactifs :

- Nitrate d'argent $AgNO_3$ (0.1 N).
- Chromate de potassium K_2CrO_4 à 5%.

Mode opératoire :

Introduire 100ml de l'extrait à saturation (préalablement filtrés), ajouter 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 5%. Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Expression des résultats :

La concentration en chlorures en mmol/l est donnée par la formule suivante :

$$1000. \frac{C_{AgNO_3} \times V_{AgNO_3}}{V_{éch}}$$

C_{AgNO_3} : Concentration molaire de la solution $AgNO_3$ (0.1 N).

V_{AgNO_3} : volume en ml de chute de burette.

$V_{éch}$: volume en ml de la prise d'essai.

- **Dosage des carbonates et bicarbonates**

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles.

On distingue deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

Le TA et la TAC étant mesurés successivement sur un même échantillon, les deux méthodes de dosage seront présentées en même temps.

Les réactifs :

- Acide sulfurique 0.02N.
- Solution de phénolphtaléine à 0.5%
- Solution d'orange de méthyle.

Mode opératoire :

Détermination du TA :

Prélever 50ml de l'extrait à analyser dans une fiole conique. Ajouter 2 gouttes de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul. Titrer avec l'acide sulfurique, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution.

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

Détermination du TAC :

Utiliser l'échantillon traité précédemment s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2gouttes de méthyle orange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose.

Expression des résultats :

$$1000. \frac{C \text{ acide sulfurique} \times V \text{ acide sulfurique}}{V \text{ éch}}$$

C acide sulfurique : Concentration molaire de l'acide sulfurique 0.02N.

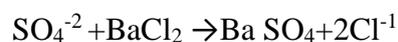
V acide sulfurique : volume en ml de chute de burette.

V éch : volume en ml de la prise d'essai.

• Dosage des sulfates par spectrophotométrie UV-VIS

Principe

L'ion sulfate SO_4^{-2} réagit avec l'ion baryum pour former un précipité de sulfate de baryum



↓

Le précipité est maintenu en suspension grâce à une solution de gomme d'acacia. La densité optique de la solution à 600 nm est une mesure de la quantité de sulfates présents dans la solution.

Matériel

- fioles jaugées de 100, 500, 1 000 et 2 000 mL ;

- fioles jaugées de 100 mL, 1 par échantillon ;

- pipettes à 1 trait de 2 et 10 mL ;
- pipettes à 1 trait de 25 mL, 1 par échantillon ;
- spectrophotomètre réglé à 600 nm, assurant une précision de 0,01 d'absorbance, équipé de cuves de 10 mm de trajet optique ; - balance de précision à 0,001 g ;
- balance analytique à 0,01 mg.

Réactifs

- **Eau déminéralisée ayant une conductivité inférieure à 0.1 mS.m⁻¹**

- **Solution NaCl**

Dans une fiole jaugée de 2 000 mL, ajouter 40 mL d'acide chlorhydrique conc. (36 %, d = 1,18) à 480 g de chlorure de sodium p.a. (NaCl). Ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser.

- **Gomme d'acacia 0,25 %**

Dans une fiole jaugée de 100 mL, dissoudre dans de l'eau déminéralisée 0,25 g de gomme d'acacia. Ajuster au volume. Homogénéiser

- Chlorure de baryum (BaCl₂, 2H₂O) en poudre

- **Solution mère de sulfate de sodium (Na₂SO₄) 200 mé.L⁻¹ %**

Dans une fiole jaugée de 500 mL contenant environ 400 mL d'eau déminéralisée, dissoudre 7,1025 g de sulfate de sodium anhydre (Na₂SO₄) Ajuster au volume. Homogénéiser.

- **Solutions filles de sulfate de sodium (Na₂SO₄)%**

Dans des fioles jaugées de 1 000 mL, diluer respectivement 5, 10, 15,20 et 25 mL de la solution mère avec de l'eau déminéralisée (4.3.1), ces solutions contiennent respectivement 1, 2, 3, 4 et 5 mé.L⁻¹ . Ajuster au volume. Homogénéiser

- Transférer 25 mL de l'extrait dilué (à 10 ou à 100) dans une fiole jaugée de 100 mL et ajouter 10 mL de la solution NaCl.HCl, 2 mL de gomme d'acacia et 1 g de poudre de chlorure de baryum.
- Agiter à la main, ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser.
- Préparer un témoin et les solutions filles selon le même protocole.
- En prenant le témoin comme référence, ajuster à 0,00 l'absorbance du spectrophotomètre réglé à 600 nm.

Mesurer l'absorbance au spectrophotomètre à 600 nm pour les solutions filles et les échantillons.

Calculs

Après la lecture au spectrophotomètre tracer la droite d'étalonnage et déterminer à l'aide de cette droite les concentrations en sulfates ($\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q}.\text{L}^{-1}$) des échantillons de la façon suivante :

$$\text{SO}_4 \text{ m}\ddot{\text{e}}.\text{L}^{-1} = \mathbf{C * D}$$

C : Concentration calculée à partir de la droite d'étalonnage

D : Niveau de dilution

Annexe 19

Les molécules pesticides, HAP, PCB, PBDE et divers autres analysées en multi-résidus par chromatographie gazeuse et liquide dans la matrice
« Sol » (>) : Supérieur aux Limites de Détection)

- **57 Pesticides (GC)**

57 Pesticides									
acetochlore	azinphos méthyl ^{>}	Cypermethrine	dichlorvos	endosulfan sulfate	fenitroton	irgarol	op'DDT	pp'DDT	terbutylazine
aclonifen	beta HCH	cyproconazole	dieldrine	endrine	fusilazole	isodrine	parathion éthyl	Propachlore	tetraconazole
alachlore	bifenox	DEA Results ^{>} (Déséthylatrazine)	difenoconazole ^{>}	epoxyconazole	Hepepo-cis	lindane	parathion méthyl ^{>}	propazine	trifluraline
alpha_HCH	chlorfenvinphos	delta HCH	dimethenamide	ethion	hepepo-trans	malathion	phosdrine	propiconazole	
atrazine	Chlorothalonil ^{>}	DIA Results	endosulfan alpha	ethoprophos	heptachlore	metazachlore	pp'DDD	simazine	
azinphos ethyl	chlorpyrifos_ethyl	Diazinon	endosulfan beta	fenbuconazole	hexaconazole ^{>}	metolachlore	pp'DDE ^{>}	terbutylazine	

- **41 Pesticides (LC)**

41 Pesticides								
propamocarb HCL	imazamethabenzmethyl	134 DCPU	chlortoluron	monolinuron	24D	flurtamone	245T	benfuracarb
Carbendazime ^{>}	hexaxinone	cyanazine	pyrimethanil	bromoxinil	dicamba	ioxynil	tebuconazole	
imazalil	metoxuron	fluroxypir	terbuthryne	metobromuron	triclopyr	linuron	Neburon	
imidacloprid ^{>}	carbetamide	carbofuran	isoproturon	MCPA	cyprodinil	Dichlorprop	dinoterb	
fenpropidine	Bromacil	methabenzthiazuron	diuron	dimetachlor	mecoprop	Bentazone	prosulfocarb	

- **16 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

N°	HAP	N°	HAP	N°	HAP	N°	HAP
1	Acenaphtene ^{>}	5	benzoapyrene	9	chrysene ^{>}	13	indenopyrene
2	Acenaphtylene ^{>}	6	benzo(b)fluoranthene	10	dibenzanthracene ^{>}	14	naphtalene ^{>}
3	Anthracene	7	benzoghhiperylene ^{>}	11	fluoranthene ^{>}	15	phenanthrene ^{>}
4	benzanthracene	8	benzo(k)fluoranthene	12	fluorene ^{>}	16	pyrene

- **11 Polychlorobiphényles (PCB)**

N°	PCB										
1	pcb 28	3	pcb101	5	pcb153	7	pcb138	9	pcb180	11	pcb207
2	pcb 52	4	pcb118	6	pcb105	8	pcb156	10	pcb205		

- **10 Polybromodiphénylether (PBDE)**

N°	PBDE	N°	PBDE	N°	PBDE	N°	PBDE	N°	PBDE
1	PBDE 100	3	PBDE 154	5	PBDE183	7	PBDE 28	9	PBDE 77
2	PBDE 153	4	PBDE181	6	PBDE197	8	PBDE 47	10	PBDE 99

- **10 Divers**

N°	Elément	N°	Elément	N°	Elément	N°	Elément	N°	Elément
1	dehp ^{>}	3	4teroctylphenol	5	para_n_nonylphenol	7	Hexachlorobenzene ^{>}	9	Pentachlorobenzene
2	4_n_octylphenol ^{>}	4	nonylphenol	6	1.2.4trichlorobenzene ^{>}	8	Hexachlorobutadiene ^{>}	10	Pentachlorophenol ^{>}

Dehp/DEHP : Le phtalate de bis(2-éthylhexyle ou phtalate de di-2-éthylhexyle. Octylphenol et nonylphenol composés de synthèse appartenant à la famille des alkylphénols.

Annexe 20

Les molécules pesticides, HAP, PCB, PBDE et divers autres analysées en multi-résidus par chromatographie liquide et gazeuse dans la matrice
« Eau » (>) : **Supérieur aux Limites de Détection**

Résultats LC : 81 molécules

1-(3.4) dichlorophen yl uree DCPU	Boscalid	Cyanazine	Flazasulfuron	Imidacloprid	Mecoprop	Metsulfuron methyl	Propamocarb HCl ^{>}	Sulcotrione
2 Hydroxy Atrazine	Bromacil	Cymoxanil	Flufenacet	Iodosulfuron methyl sodium	Mesosulfuron methyl	Monolinuro n	Prosulfocarb	Tebuconazole
2.4 D	Bromoxynil	Cyprodinil	Fluroxypir	Ioxynil	Mesotrione	Neburon	Prosulfuron	Terbutryne
2.4.5 T	Bromuconaz ole	Dicamba	Flurtamone	IPPMU Desmethylsoprotu ron	Metalaxyle	Nicosulfuro n	Pymetrozine	Thiabendazol e
Asulame	Carbendazim e ^{>}	Dichlorpro p	Foramsulfuron	Isoproturon	Methabenzthiazur on	Pencycuron	Pyraclostrobi ne	Thiametoxam
Azimsulfuro n	Carbetamide	Dimethachl or	Fosthiazate	Isoxaben	Methomyl	Picloram	Pyridate	Thifensulfuro n methyl
Azoxystrobi ne	Carbofuran	Dinoterb	Hexazinone	Lenacil	Metobromuron	Picoxystrobi ne	Pyrimethanil	Thiophanate methyl
Benfuracarb	Chlortoluron	Diuron	Imazalil	Linuron	Metosulam	Pirimicarb	Quinmerac	Triclopyr
Bentazone	Clopyralid	Fenpropidi ne	Imazamethabenzmet hyl	MCPA	Metoxuron	Procloraz	Spiroxamine	Trifloxystrobi ne

Résultats GC (Mode SIM) : 138 molécules

2,6 dichlorobenzamide	chlorprophame	diméthenamide	heptachlore	méthiocarb	pp' DDT	tétraméthrine	Me2 fluoranthène
acétochlore	chlorpyrifos éthyl	dimétomorphe	heptachlore epoxyde (cis + trans)	métolachlore	procymidone	triadiménol	Me2 naphtalène
aclonifène	clomazone	endosulfan alpha	heptenophos	métribuzine	prométhryne	triallate	naphtalene ^{>}
alachlore	cyperméthrine	endosulfan beta	hexachlorobenzène	napropamide	propachlore	trifluraline	phenanthrene
aldrine	cyphénothrine	endosulfan sulfate	hexaconazole	op' DDT	propanil	vinchlozoline	pyrene
alpha HCH	cyproconazole	endrine	ioxynil octanoate	oxadiazon	propazine	acenaphthene	PCB 28
atrazine	déisopropyl atrazine	époxyconazole	iprodione	oxadixyl	propiconazole	acenaphtylene	PCB 52
azinphos ethyl	delta HCH	éthion	irgarol	oxyfluorfone	propyzamide	anthracene	PCB 101
azinphos methyl	deltaméthrine	éthofumésate	isodrine	parathion ethyl	quintozène	benzanthracene	PCB 118
benfluraline	deséthyl atrazine	ethoprosfos	isofenphos	parathion méthyl	quizalofop ethyl	benzo(a)pyrene	PCB 138
benoxacor	deséthyl terbutylazine	fénarimol	isoxadifen éthyl	pendimethaline	simazine	benzo(b)fluo	PCB 153
benzènesulfonamide N-butyl	diazinon	fenbuconazole	krésoxim méthyl	perméthrine	tébutame	benzo(ghi)peryl	PCB 180
beta HCH	dichlorvos	fénitrotion	lambda cyalothrine	phénothrine	téfluthrine	benzo(k)fluo	
bifenox	diclobenil	fenoxaprop éthyl	lindane	phénothrine	téméphos	chrysene	
bromoxynil octanoate	diclofop methyl	fenpropimorphe	malathion	phosdrine	terbuméton	dibenzanthracène	
bromuconazole	dieldrine	fluazifop butyl	métaldéhyde	piperonyl butoxyde	terbutylazine	fluoranthene	
chlorfenvinphos	difénoconazole	flusilazole	métazachlore	pp' DDD	tétraconazole	fluorene	
chlorothalonil	diflufenican	folpet	metconazole	pp' DDE	tétraméthrine	indénopyrène	

Annexe 21

Tableau : Caractéristiques physico-chimiques des différentes SA détectées dans les sols par analyse en multi-résidus par chromatographie d'après la PPDB.

Caractéristiques		Solubilité à 20°C (mg l ⁻¹)		GUS Indice du potentiel de lixiviation	Constante de Henry à 25°C (Pa m ³ mol ⁻¹)	Dégradation dans le sol (jour) en milieu aérobique DT50 (typique)	Constante de dissociation pKa
F.Chimiques	SA	Eau	Solvants organiques				
Organophosphoré	Azinphos-methyl (I)	28 : faible	1200-250000	1,42 FL	5,70x10 ⁻⁰⁶ NV	10 NP	5
	Parathion-methyl (I)	55 modérée	15000-200000	1,46 FL	8,57x10 ⁻⁰³ NV	12 NP	-
Organochloré	p,p'-DDE (I) (DDT)	0.006 faible	600000-1000000	-3,89 FL	8,43x10 ⁻⁰¹ MV	6200 TP	-
Carbamates	PropamocarbHCl (F)	1005000 forte	40-560000	1,84 ET	8,50x10 ⁻⁰⁹ NV	39.3 MP	9,6 Acide faible
Triazine	Deethylatrazine/DEA(H)	35 faible	110-28000	3,20 HL	1,50x10 ⁻⁰⁴ NV	75 MP	1,7 Base très faible
Triazole	Difenoconazole (F)	15 faible	3400-330000	0,90 FL	9,0x10 ⁻⁰⁷ NV	130 P	1,07 Acide fort
	Hexaconazole (F)	18 faible	810-246000	2,05 ET	3,33x10 ⁻⁰⁴ NV	122 P	2,3 Acide fort
Néonicotinoïde	Imidaclopride (I)	610 forte	100-67000	3,74 HL	1,7x10 ⁻¹⁰ NV	191 P	Non applicable Pas de dissociation
Benzimidazole	Carbendazime (F)	8 faible	36-300	2,53 ET	3,60x10 ⁻⁰³ NV	40 MP	4,2 Base faible
Chloronitrile	Chlorothalonil (F)	0.81faible	1360-13800	0,62 FL	2,50x10 ⁻⁰² NV	22 NP	Non applicable Pas de dissociation

NV : Non Volatile, FL : Faible Lixiviation, ET : Etat de Transition, HL : Haute lixiviation, V : Volatile, MV : Modérément Volatile, NP : Non Persistant, TP : Très Persistant, MP : Modérément Persistant, P : Persistant.

Remarque : quand le pHsol > pKa de la molécule (la plupart des molécules dans cette étude) => que la substance active ou la molécule est chargée négativement.

Résumés

Résumé

Le contexte hydropédoclimatique, associé à une forte dynamique des systèmes de production dans les Ziban, nous emmène à questionner la recherche sur durabilité de cette agriculture oasienne en plein extension. Il s'agit surtout, d'aborder cette durabilité suivant la piste d'une éventuelle contamination par les pesticides, du sol et de l'eau. Deux volets complémentaires mêlant de front des enquêtes culturelles sur les pratiques phytosanitaires et des analyses en laboratoire, multi-résidus par chromatographie gazeuse et liquide, en mode de détection par spectrométrie de masse des échantillons d'eau et de sols. La confrontation des résultats, met en évidence la présence de résidus de carbendazime, chlorothalonil, difénoconazole, hexaconazole et d'imidaclopride. Malgré la rémanence de ces molécules, elles sembleraient n'avoir pas affectées le sol et l'eau souterraine. Contrairement aux eaux superficielles (eau d'oued éphémère) où une surveillance s'imposerait, car nous avons mis en évidence la présence de trois molécules: deux pesticides: carbendazime et propamocarbHCl et un HAP: naphtalène qui restent toutes, inférieures aux normes et référentiels internationaux.

Mots clés : Culture sous serre, pesticides, enquêtes pratiques phytosanitaires, analyse multi-résidus.

Abstract

The hydropedoclimatic context, associated with a strong dynamics of the production systems in the Ziban, leads us to question the research on sustainability of this oasis agriculture in full extension. Above all, it is a question of approaching this sustainability following the trail of possible soil and water contamination by pesticides. Two complementary components combining crop surveys on phytosanitary practices and laboratory multi-residues analyzes by gas and liquid chromatography, in mass spectrometric detection mode of water and soil samples. The confrontation of the results highlights the presence of residues of carbendazim, chlorothalonil, difenoconazole, hexaconazole and imidacloprid. Despite the persistence of these molecules, they seem to have not affected soil and groundwater. Unlike surface waters (ephemeral wadis) where surveillance is required because we have identified the presence of three molecules: two pesticides: carbendazim and propamocarbHCl and a PAH: naphthalene which all remain below International standards.

Keywords: Culture in greenhouses, pesticides, plant protection practices surveys, multi-residue analysis.

ملخص

إن السياق الهيدرولوجي و المتعلق بالتربة و المناخ ، المرتبط بالديناميات القوية لنظم الإنتاج في الزيبان، يقودنا إلى التساؤل في البحث حول استدامة هذه الزراعة الواحية التي في أوج تمددها. ومن المهم جدا أن تناول مسألة هذه الاستدامة وفق مسار التلوث المحتمل بالمبيدات للتربة والمياه. وهناك عنصران متكاملان يجمعان بين الإستطلاعات الزراعية حول ممارسات الصحة النباتية والتحليل المختبرية متعددة البقايا عن طريق المسح اللوني الغازي و السائل و الكشف بالطيف الكتلي لعينات المياه والتربة. بمواجهة النتائج، يبرز وجود مخلفات من كاربندازيم، كلوروثالونيل، ديفينوكونازول، هيكساكونازول و إيميداكلوبريد. وعلى الرغم من استمرار هذه الجزيئات، يبدو أنها لم تؤثر على التربة والمياه الجوفية. على عكس المياه السطحية (الوديان المؤقتة) أين المراقبة مطلوبة لأننا قد حددنا وجود ثلاث جزيئات: اثنين من المبيدات: كاربندازيم و بروباموكارب و مكّون واحد هيدروكربوني متعدد الحلقات: النفثالين و التي تبقى جميعها دون المعايير الدولية.

الكلمات المفتاحية: الزراعة في الدفيئات، المبيدات، الدراسات الاستقصائية لممارسات وقاية النبات، التحليل متعدد البقايا.