

BURKINA FASO

Unité-Progrès-Justice

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (M.E.S.R.S.I.)

.....
UNIVERSITE NAZI BONI (U.N.B)

.....
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (I.D.R)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : EAUX ET FORETS

« Pratiques maraîchères et risques de pollution environnementale
par les pesticides: cas de quelques exploitations de Sakaby et de
Dogona à Bobo-Dioulasso »

Présenté par POODA Lamine

Maîtres de stage :

- ✓ Dr Martine KONE
- ✓ Madame OUEDRAOGO Adèle

Directeur de mémoire : Dr Mipro HIEN

Co-directeur de mémoire :

Dr Jean-Baptiste M. H. ILBOUDO

N:.....2017/E&F.....juillet 2017

Table des matières

Table des matières	i
Dédicace	iv
Remerciements	v
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	vii
Liste des annexes	viii
Sigles et abréviations	viii
Résumé	x
Abstract	xi
Introduction générale	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
Chapitre I : Généralités sur le maraîchage	5
1.1. Définition	5
1.2. Historique du maraîchage au Burkina Faso	5
1.3. Gestion des ravageurs en culture maraîchère	6
1.3.1. Lutte biologique	6
1.3.2. Lutte agronomique	6
1.3.3. Méthodes alternatives à la lutte chimique	7
1.3.4. Lutte chimique.....	7
1.3.5. Lutte intégrée.....	8
1.4. Notion de durabilité agricole.....	8
Chapitre II. Généralités sur les pesticides	10
2.1. Définition(s)	10
2.2. Classification des pesticides	10
2.2.1. Classification selon l'ennemi ciblé	10
2.2.2. Classification selon les caractéristiques chimiques.....	11
2.2.2.1. Les pesticides inorganiques	11
2.2.2.2. Pesticides organométalliques	11
2.2.2.3. Pesticides organiques	11
2.2.2.3.1. Pesticides organophosphorés (OP)	12
2.2.2.3.2. Pesticides du groupe des carbamates	12
2.2.2.3.3. Pesticides organochlorés (OC)	12

2.2.2.3.4. Pesticides de type triazine.....	12
2.2.3. Classification selon l'usage	13
2.3. Toxicité des pesticides	13
2.3.1. Toxicité chronique ou indirecte.....	13
2.3.2. Toxicité aiguë.....	14
2.4. Devenir des pesticides	14
2.4.1. Dans le sol	14
2.4.2. Dans l'eau.....	15
2.4.3. Dans l'atmosphère (air)	15
2.5. Risques des pesticides sur les organismes non-cibles	16
2.6. Estimation des risques environnementaux des pesticides	16
2.7. Estimation des risques suivant les propriétés physico-chimiques des pesticides.....	17
2.8. Utilisation des modèles numériques et d'indicateurs	17
2.9. Règlementations sur l'usage des pesticides.....	18
2.9.1. Au niveau international	18
2.9.2. Au niveau sous régional	19
2.9.3. Au niveau national	20
Chapitre III : Présentation de la zone d'étude	21
3.1. Localisation de la zone d'étude	21
3.1.1. Climat	22
3.1.2. Réseaux hydrographiques	23
3.1.3. Relief	23
3.1.4. Végétation	24
3.1.5. Sols	24
DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES.....	25
Chapitre IV : Matériel et méthodes.....	26
4.1. Matériel	26
4.1.1. Outils de collecte de données sur les exploitations maraîchères.....	26
4.1.2. Matériel de terrain	26
4.2. Méthodologie	26
4.2.1. Caractérisation des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona	26
4.2.2. Traitement et analyse des données	27
4.2.3. Estimation des risques liés aux pesticides chimiques	28
4.2.3.1. Prélèvement des échantillons de sols	28
4.2.3.2. Analyse des échantillons de sols au laboratoire	28

4.2.3.3. Indicateur d'évaluation d'impacts environnementaux	30
Chapitre V : Résultats	33
5.1. Caractéristiques des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona	33
5.1.1. Caractéristiques sociodémographiques	33
5.1.2. Caractéristiques des pratiques culturales	35
5.1.3. Mode de fertilisation	37
5.1.3.1. Fertilisation organique.....	37
5.1.3.2. Fertilisation minérale.....	38
5.1.3.3. Dose moyenne de fertilisant	39
5.1.4. Gestion des ravageurs	40
5.1.5. Pesticides chimiques utilisés par les producteurs	41
5.1.5.1. Principales matières actives et familles chimiques des pesticides utilisés à Sakaby et Dogona.....	42
5.1.5.2. Type de pesticides	44
5.1.5.3. Pesticides homologués par le Comité Sahélien des Pesticides (CSP).....	44
5.1.6. Perception de l'impact des pesticides sur l'environnement par les producteurs	45
5.1.7. Contraintes liées à la production maraîchère à Sakaby et Dogona	46
5.2. Risques d'impact environnemental des pesticides utilisés à Sakaby et Dogona	46
5.2.1. Points de Risques par principales spéculation	47
5.2.2. Points de risques moyens par matière active	47
5.2.3. Valeurs moyennes de concentration environnementale prédite par matière active	48
5.2.4. Scores globaux moyens de EPRIP par principale spéculation.....	50
5.2.5. Scores globaux moyens de EPRIP par matière active	50
Chapitre VI : Discussions	52
6.1. Caractéristiques des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona	52
6.2. Risques d'impact environnemental des pesticides utilisés en production maraîchère à Sakaby et Dogona	55
Conclusion et perspectives	59
Références bibliographiques	61
Annexes	A

Je dédie ce présent mémoire à ma famille en particulier à mon défunt père POODA Sokité, ma mère YOUL Djilèpièra pour les multiples sacrifices consentis pour m'assurer une bonne éducation et à mes frères et sœurs pour leurs encouragements et soutiens. Puisse l'amour fraternel nous unir pour toujours.

Et également à mes oncles YOUL Sié, Dr Sansan YOUL et Dr Sami YOUL pour leurs soutiens multiformes.

Remerciements

Ce présent mémoire est le fruit de la collaboration entre l'Université Nazi Boni de Bobo-Dioulasso et l'Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies de l'Ouest (IRSAT). C'est l'occasion pour nous ici d'adresser nos sincères remerciements à tous ceux ou celles qui ont œuvré à l'élaboration dudit mémoire. Nos remerciements s'adressent particulièrement:

- Au projet **PARADE** (Renforcement de la Résilience des Systèmes Productifs Maraîchers par la Recherche-Développement et l'Education Participatives à l'Application de Principes Agro-Écologiques au Burkina Faso), dont l'appui matériel et financier nous a permis de mener le présent travail;
- Aux partenaires du projet **PARADE** pour les efforts multiformes consentis pour notre formation ;
- Au **Docteur Bernard BACYE**, Directeur de l'Institut du Développement Rural (IDR), à l'ensemble du corps enseignant et du personnel administratif, qui ont assuré notre formation ;
- Au Docteur (Maître de Conférence) **Mipro HIEN**, notre directeur de mémoire d'avoir accepté la supervision du mémoire ;
- Au **Docteur Jean-Baptiste M. H. ILBOUDO**, notre co-directeur de mémoire d'avoir assuré notre encadrement ;
- Au **Docteur KONE Martine**, notre maître de stage pour sa franche collaboration et multiples conseils;
- A **Madame KERE/KANDO Christine** Directrice Régionale de l'IRSAT/Ouest qui nous a accueilli et intégré dans son équipe ;
- Au **Docteur Fabèkourè Cédric KAMBIRE**, coordonnateur du projet PARADE pour son encadrement, sa contribution et ses conseils à l'élaboration dudit mémoire ;
- Au **Professeur Charles BIELDERS**, qui a veillé à la qualité scientifique du mémoire;
- A l'auteur de l'indicateur **Marco TREVISAN**, d'avoir accepté de mettre à notre disposition le logiciel EPRIP ;
- A **Madame OUEDRAOGO Adèle**, notre co-maître de stage de nous avoir fourni les données d'enquête de caractérisation, d'avoir proposé le thème du présent mémoire, proposé l'indicateur et de nous avoir encadré tout au long du stage ; que DIEU dans sa bonté, daigne la combler de ses grâces ;

- A **Monsieur TRAORE Oumarou, Monsieur OUEDRAOGO Félix** tous doctorants dans le cadre du projet PARADE et **Mademoiselle ZONGO Assana**, pour leur soutien moral, leurs conseils et leurs suggestions;
- A tout le personnel de la Direction de l'IRSAT/Ouest, pour leur accueil et collaboration durant notre séjour en leur sein en particulier à **Monsieur SAWADOGO Idrissa**; pour ses encouragements et appui au cours des travaux de terrain ;
- Mes collègues stagiaires en particulier **Monsieur SAWADOGO Adama** pour la franche collaboration;
- A **Monsieur OUATTARA Amoro**, responsable du laboratoire de GRN de Farako-Bâ et toute son équipe pour leur accueil et leur disponibilité lors des analyses de sol;
- A mon ami et frangin **Monsieur ATTIOU O. Clément**, Ingénieur d'Agriculture, à mon ami et frangine **Mademoiselle SANOU Djénéba**, Ingénieur d'élevage, **Monsieur BAYILI Bazoma**, Ingénieur de recherche, **Monsieur Ouédraogo Wilfried**, Ingénieur des Eaux et Forêts et **Monsieur OUATTARA Issa**, Ingénieur Agronome pour leurs suggestions et apports personnels à l'amélioration de la qualité du mémoire ;
- A mon ami frangin **Monsieur BAYALA Cyrille Flavien Rodrigue** et **Mademoiselle DOIGNET Marthe Sandrine** pour leurs multiples assistances. Que l'amitié qui nous unit soit plus forte qu'à jamais;
- A **Mademoiselle OUERDAOGO W Nadège** pour ses soutiens et encouragements;
- Aux producteurs maraîchers de Sakaby et Dogona, en particulier **Monsieur SANOU Abdoulaye** guide de Sakaby et **Monsieur SANOU Kassoum** guide de Dogona pour leur collaboration et disponibilité au cours des différentes phases des activités de terrain;
- A tous les étudiants de la promotion 2013-2014 ;
- Et à tous ceux qui de loin ou de près ont contribué à l'élaboration du présent mémoire, qu'il leur soit rendu au centuple tous leurs bienfaits !

Liste des tableaux

Tableau I : Catégorie de toxicité aiguë des produits chimiques	14
Tableau II : Valeurs des points de risque	32
Tableau III : Score de EPRIP	32
Tableau IV : Données climatiques de la ville de Bobo-Dioulasso en 2016	32
Tableau V : PECs de différentes matières actives par principales spéculations.....	49

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.....	21
Figure 2 : Pluviométrie à Bobo-Dioulasso en 2016 (Source service météorologique de l'aéroport de Bobo-Dioulasso).	22
Figure 3 : Pluviométrie des 10 dernières années à Bobo-Dioulasso (Source : service météorologique de l'aéroport de Bobo-Dioulasso).	23
Figure 4 : Quadrillage du site de Sakaby	27
Figure 5 : Activité principale des maraîchers Figure 6 : Niveau d'instruction	33
Figure 7 : Mode d'acquisition des parcelles d'exploitation maraîchère à Sakaby et Dogona .	34
Figure 8 : Superficie des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona	34
Figure 9 : Principales spéculations produites à Sakaby et Dogona	35
Figure 10 : Raisons de l'adoption de la rotation culturale.....	36
Figure 11 : Raisons de l'adoption de l'association culturale	37
Figure 12 : Raisons d'usage de la fumure organique.....	38
Figure 13 : Différents types de fumures organiques à Sakaby et Dogona	38
Figure 14 : Raisons d'usage d'engrais chimique	39
Figure 15 : Dose moyenne de fumure minérale par spéculation appliquée à Sakaby et Dogona	40
Figure 16 : Dose moyenne de fumure organique par spéculation appliquée à Sakaby et Dogona	40
Figure 17 : Raisons de la non-utilisation des pesticides botaniques	41
Figure 18 : Noms commerciaux des pesticides recensés à Sakaby et Dogona en 2016	42
Figure 19 : Différentes matières actives rencontrées à Sakaby et Dogona	43
Figure 20 : Familles chimiques des pesticides utilisés à Sakaby et Dogona.....	43
Figure 21 : Importance relative des types de pesticides utilisés en maraîchage à Sakaby et Dogona	44
Figure 22 : Fréquence des différents pesticides par domaine d'utilisation	45
Figure 23 : Perception des producteurs maraîchers de Sakaby et Dogona de l'impact des pesticides sur le sol et l'eau.....	45
Figure 24 : Contraintes relatives à la production maraîchère chez les producteurs de Sakaby et Dogona	46
Figure 25 : Points moyens de risque par principale spéculation	47
Figure 26 : Points de risques moyens par matière active	48
Figure 27 : Scores globaux moyens par principale spéculation.	50
Figure 28 : Scores moyens de EPRIP par matière active.....	51

Liste des annexes

Annexe I : Données d'entrées de l'indicateur EPRIP	A
Annexe II : Principaux pesticides rencontrés	C

Sigles et abréviations

CCT/GCRAI : Comité de Consultation Technique du Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale

CILSS : Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

CL₅₀ : Concentration Létale médiane

CNCP : Commission Nationale de Contrôle des Pesticides

CSP : Comité Sahélien des Pesticides

DL₅₀ : Dose létale

EIQ : Environmental Impact Quotient

EPRIP : Environmental Potential Risk Indicator for Pesticide

ETR : Exposure Toxicity Ratio

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GPS : Global Positioning System

GUS : Groundwater Ubiquity Score

HAIR : HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk

IDR : Institut du Développement Rural

IFDC : Centre International pour la Fertilité des Sols et le Développement Agricole

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

IPC : Echange d'informations et consentement préalable

IRPeQ : Indicateur de Risque des Pesticides du Québec

IRSAT : Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies

K_{oc}: Coefficient d'adsorption

MAH : Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique

MAHRH : Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

MEF : Ministère de l'Éducation postsecondaire et Formation

OC : Pesticides Organochlorés

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OP : Pesticides Organophosphorés

ORSTOM : Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer

PARADE : Renforcement de la Résilience des Systèmes Productifs Maraîchers par la Recherche-Développement et l'Education Participatives à l'Application de Principes Agro-Écologiques au Burkina Faso.

PRZM : Pesticide root zone model

PEC : Predicted Environmental Concentration

POPs : Polluants Organiques Persistants

RP : Risk Points

SPSS : Statistical Package for Social Science

Résumé

L'objectif de cette étude est de faire l'état des lieux des risques de pollution environnementale liés à l'utilisation des pesticides dans les sites maraîchers de Sakaby et Dogona à Bobo-Dioulasso. Plus spécifiquement, il s'agit de faire une caractérisation des pratiques maraîchères et estimer les risques de contamination des différents compartiments environnementaux. Pour atteindre ces objectifs, une enquête a été conduite auprès de 30 producteurs des sites de Dogona et de Sakaby pour une caractérisation des exploitations maraîchères. Ensuite, un indicateur d'évaluation d'impact environnemental lié à l'usage des pesticides en production agricole a été utilisé pour estimer les risques potentiels de contamination environnementale. La caractérisation des exploitations maraîchères a mis en évidence l'exploitation de petites surfaces de 0,1 ha en moyenne exploitée par des hommes (100%) ayant en majorité le niveau d'instruction primaire, 25 ans d'expérience et qui en majorité ont hérité des terres (90%). L'arrosage est le principal mode d'irrigation avec une source d'eau permanente rendant l'activité continuelle pour une majorité cultivant principalement la laitue (87%), la tomate (83%), le poivron (70%), le persil (67%), et le céleri (63%). La fumure organique est la principale composante de gestion de la fertilité des sols par l'emploi de la fumure bovine (87%), des déchets urbains (83%), des fientes de volaille (70%) et de fumure porcine (63%). La protection des cultures est faite par des pesticides chimiques à travers l'utilisation des pyréthrinoides (91%) avec l'acétamipride (38%), le cyperméthrine (31%) et le lambda-cyhalothrine (31%) pour principales matières actives. En plus des pesticides homologués par le CSP en culture maraîchère, des pesticides destinés à la culture de coton sont utilisés. L'estimation des risques de pollution environnementaux liés aux pratiques maraîchères montre une présence de risque de toxicité dans les eaux souterraines, de surface et dans les sols par l'usage du méthomyl, du glyphosate, de l'acétamipride et de cyperméthrine en eau souterraine. Le lambda-cyhalothrine, le deltaméthrine et le cyperméthrine posent un risque de toxicité pour les organismes vivants des eaux de surface. Le sol est affecté par l'abamectine, le méthomyl et le glyphosate. Par contre l'air ne présente qu'un risque de toxicité faible pour l'ensemble des matières actives. L'indicateur a en outre décelé la présence de concentrations élevées de résidus de pesticides dans le sol et les eaux souterraines. L'eau souterraine présente des concentrations pour l'acétamipride (0,23 µg/l) et l'abamectine (0,48 µg/l) excédant la limite légale (0,05 µg/l). Mais globalement, l'indicateur révèle un risque faible pour l'environnement dans les sites de Dogona et de Sakaby.

Mot clés : Burkina Faso, Pesticides, cultures maraîchères, impact environnemental, Indicateur.

Abstract

The aim of this study is to assess the environmental pollution risks associated with the use of pesticides at Sakaby and Dogona market gardening sites in Bobo-Dioulasso. Specifically, it is to characterize the market gardening practices and estimate environmental risks in different compartments of environment. In order to achieve these objectives, a survey was carried out among 30 producers of the Dogona and Sakaby sites for a characterization of market gardens. Then, an environmental impact assessment indicator related to the use of pesticides in agricultural production was used to estimate the potential risks of environmental contamination.

The characterization of market gardening exploitation revealed the exploitation of small areas of 0.1 ha on average exploited by men (100%) having a primary education in majority, 25 years of experience and inheriting lands (90%). Watering is the main mode of dewatering with a permanent source of water ensuring the continuity of the activity for a majority growing lettuce (87%), tomato (83%), pepper (70%), Parsley (67%), and celery (63%). Organic matter is the main component of soil fertility management through the use of bovine manure (87%), urban waste (83%), poultry droppings (70%) and porcine manure (63%). Crop protection is achieved by chemical pesticides using pyrethroids (91%) with acetamiprid (38%), cypermethrin (31%) and lambda-cyhalothrin (31%) as main active ingredients. In addition to pesticides approved by the CSP in market gardening, pesticides for cotton growing are used. Estimates of the environmental pollution risks associated with market gardening practices show a risk of toxicity in ground water, surface water and soil by the use of methomyl, glyphosate, acetamiprid and cypermethrin in groundwater. Lambda-cyhalothrin, deltamethrin and cypermethrin pose a risk of toxicity to organisms living in surface water. The soil is affected by abamectin, methomyl and glyphosate. On the other hand, air has only a low toxicity risk for all the active ingredients. The indicator also detected the presence of high concentrations of pesticide residues in soil and groundwater. Groundwater has concentrations for acetamiprid (0.23 µg / l) and abamectin (0.48 µg / l) exceeding the legal limit (0.05 µg / l). Overall, however, the indicator shows a low environmental risk at sites of Dogona and Sakaby.

Keywords : Burkina Faso, Pesticides, Markets gardeners, Environmental impact, Indicator.

Introduction générale

En Afrique, l'agriculture urbaine est pratiquée par environ quarante (40) millions de personnes. Cette agriculture est dominée par les cultures maraîchères en raison de leur contribution à l'amélioration des conditions de vie des populations (FAO, 2012). Au Burkina Faso, la filière maraîchère offre près de 400000 emplois dont 100000 sont occupés par les femmes sur une population active totale d'environ six millions d'individus (MAHRH, 2008). Cependant, au Burkina Faso comme ailleurs, l'utilisation de pesticides est systématique dans la production conventionnelle maraîchère, et ce dans l'objectif d'endiguer les ennemis de cultures (Toé, 2010) et d'optimiser les rendements des cultures (Ahouangninou *et al.*, 2011 ; Cissé *et al.*, 2011 ; Donafologo, 2012). Ils ont en effet, contribué à augmenter les rendements agricoles d'environ 24% entre 1996 et 2001 (MAHRH, 2007). En outre, compte tenu de son importante place dans la vie socio-économique, la filière maraîchère entraîne une utilisation croissante de pesticides (Sougnabé *et al.*, 2009) et parfois même des pesticides non homologués en production maraîchères tels que le paraquat, l'endosulfan et l'atrazine (Akpo *et al.*, 2016).

En effet, les organismes nuisibles sont à l'origine de dégâts très importants qui peuvent, malheureusement, compromettre gravement la qualité et la quantité des récoltes (Calvet *et al.*, 2005). Une étude conduite par Bassolé et Ouédraogo (2007), auprès des producteurs maraîchers a permis de montrer que les ravageurs de cultures étaient à l'origine de 72,5%, de 42,5% et de 40% de dégât sur le chou respectivement dans les villes de Ouagadougou, de Ouahigouya et de Bobo-Dioulasso. Face à cette situation, le recours aux pesticides chimiques de synthèse par les producteurs vise aussi à préserver une bonne qualité physique des produits, sans trace d'attaque de ravageurs afin d'assurer un revenu acceptable (Calvet *et al.*, 2005). Mais malgré l'usage de pesticides, les producteurs constatent que les insectes nuisibles continuent de causer de sérieux dommages aux cultures, ce qui laisse penser qu'ils ont développé des formes de résistances aux pesticides (Agboyi *et al.*, 2015). La dépendance croissante à ces produits et l'usage excessif et abusif qui en est fait, posent de sérieux problèmes (Thiam et Bamba, 2009).

Cette situation suscite de nombreuses interrogations quant à leurs effets toxiques et à leurs impacts négatifs sur l'homme et sur l'environnement. Selon Schrack *et al.* (2009), parmi les conséquences de l'utilisation des pesticides en production agricole, on note la contamination de l'environnement et en particulier celle des eaux souterraines et de surface. Les études de Napit (2013), ont révélé que les pesticides causaient des maladies, des anomalies comportementales, des cancers et des mutations géniques chez des espèces de poissons. De plus, les résidus de pesticide peuvent porter atteinte à la faune du sol. Amengor et Tetteh (2008) ont rapporté que

les traitements de pesticides aux cultures supprimaient les populations bactériennes et fongiques. Au Sénégal, les études conduites par Cissé *et al.* (2001), ont permis de montrer que la nappe souterraine du site de Guédiawaye présentait une concentration moyenne en résidus de pesticides 102 fois supérieure à la valeur guide soit en moyenne une concentration totale de 51,21µg/L.

Au Burkina Faso, peu de travaux ont porté sur l'impact des pesticides sur l'environnement en production agricole et en particulier en production maraîchère. Néanmoins, on trouve des travaux comme ceux de Zongo (2009), qui ont constaté qu'au minimum quatre ou six traitements étaient effectués sur le chou. Quant aux travaux de Bayili (2014), l'on retient que des résidus de diuron (29,03 mg/kg, 22,63 mg/kg, 105,50 mg/kg) ont été détectés dans des échantillons de sol de champ conventionnel et de champ biologique de coton. Et aussi l'eau de surface était contaminée par les résidus de lambda-cyhalothrine (0,0147 µg/L) et de deltaméthrine (1,49 µg/L). Les travaux de Gountan (2013), ont révélé également une réduction de 62 % de la densité des termites en présence de lambda-cyhalothrine, tandis que le chlorpyrifos-éthyl a induit une réduction de 40 % de la densité totale des autres groupes de macrofaune.

De ce qui précède, nous nous interrogeons quant à la durabilité environnementale liée à l'usage des pesticides en production maraîchère. Alors l'estimation des risques liés aux résidus de pesticide se présente comme un élément de réponse pour le choix de pesticides et de pratiques de traitements des cultures, susceptibles d'avoir le moins d'impact sur l'environnement et sur l'homme (Mamy *et al.*, 2008) garantissant ainsi une durabilité des exploitations agricoles et plus particulièrement des agrosystèmes maraîchers. C'est dans cette optique que s'inscrit les travaux du présent mémoire intitulé « **Pratiques maraîchères et risques de pollution environnementale par les pesticides: cas de quelques exploitations de Sakaby et de Dogona à Bobo-Dioulasso** »

L'objectif global de cette étude est de faire l'état des lieux des risques de pollution environnementale, liés à l'utilisation des pesticides en production maraîchère. Plus spécifiquement, il est question de :

- caractériser les pratiques maraîchères et comprendre la logique qui sous-tend chaque pratique ;
- évaluer les risques de contamination des différents compartiments de l'environnement liés à l'utilisation des pesticides en production maraîchère;

Afin d'atteindre les objectifs que nous nous sommes assignés, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- il existe une diversité de pratiques maraîchères à Sakaby et à Dogona;
- il existe des risques de contamination des différents compartiments environnementaux liés à l'utilisation des pesticides en productions maraîchères à Sakaby et à Dogona.

Le présent mémoire est structuré en plusieurs chapitres et organisé en deux parties. La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique et la deuxième partie fait cas de l'étude expérimentale.

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur le maraîchage

1.1. Définition

Le maraîchage ou culture maraîchère, se distingue de la culture potagère en ce sens qu'il consiste à produire des légumes à des fins commerciales (Bastin et Fromageot, 2007). Pour Autissier (1994), la culture maraîchère se définit comme la production d'un ensemble de plantes annuelles ou pérennes, arbustives ou herbacées dans un espace agraire délimité, généralement exploité de façon intensive, dont la récolte est vendue en plus ou moins grande quantité.

1.2. Historique du maraîchage au Burkina Faso

Héritage colonial, le maraîchage a pris différentes formes. Initialement destiné aux colons, les légumes occidentaux deviennent une composante incontournable des plats de base Burkinabè. Le maraîchage passa donc d'un nombre limité de jardins sous le contrôle des colons avant l'indépendance, à une activité pratiquée par un grand nombre d'autochtones exclus des emplois des secteurs « modernes ». Ainsi, avec l'expansion urbaine post-indépendance, le maraîchage fut développé un peu partout dans la région de Bobo-Dioulasso où une ressource en eau était disponible en abondance. A cette époque, le maraîchage était exclusivement pratiqué en saison sèche mais à partir des années 1990, il est devenu permanent (Ophélie, 2013). L'activité maraîchère est surtout pratiquée de nos jours dans des bas-fonds, autour des barrages, des lacs et des cours d'eau (rivière ou fleuve) appelés sites d'exploitation maraîchère. Les cultures pratiquées dans ces sites sont l'oignon feuille, l'oignon bulbe, le chou, la tomate, l'aubergine locale, l'aubergine importée, le piment, la laitue, la carotte, la pomme de terre, le haricot vert, les fraises, le concombre, le poivron, l'ail, le gombo, le tabac et les autres cultures (betterave, taro, navet, courgettes, etc.) (MAH, 2011). Ces cultures sont d'une grande importance pour l'économie nationale et aussi pour la consommation des ménages. En effet, le recensement général de l'agriculture en 2011 par le Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique (MAH), a permis de montrer que le maraîchage peut rapporter plus de 82 milliards de francs CFA aux producteurs. En plus de son rôle économique et alimentaire, le maraîchage procure aux populations des zones urbaines et péri-urbaines de l'emploi. Cependant, il existe des contraintes liées à la production maraîchère notamment les attaques parasitaires. Les maladies et ravageurs des cultures causent des dégâts considérables, pouvant engendrer dans certains cas des pertes en production s'élevant à plus de 30% (Toé, 2010). C'est pourquoi plusieurs moyens de lutte contre les ravageurs sont mis en œuvre pour limiter leurs actions nuisibles sur les cultures.

1.3. Gestion des ravageurs en culture maraîchère

En Afrique et plus particulièrement au Burkina Faso, l'appropriation d'une méthode de lutte contre les ravageurs par les producteurs est fonction de la facilité d'accès à la méthode et au coût de revient. Mais, il est à noter que la lutte chimique reste de loin la méthode la plus utilisée par les producteurs maraîchers, en raison de la facilité d'accès aux produits chimiques de synthèse et de leurs effets immédiats sur ceux-ci. Néanmoins, il existe des méthodes autres que chimiques, permettant de faire face aux attaques des ennemis de cultures.

1.3.1. Lutte biologique

Apparue à la fin du XIX^{ème} siècle, la lutte biologique utilise des organismes vivants, en particulier des insectes, afin de prévenir et de réduire les dégâts causés par les bio-agresseurs. Ces organismes auxiliaires sont des prédateurs, des microorganismes pathogènes ou encore des parasitoïdes (organismes qui se développent à l'intérieur du bio-agresseur, conduisant à la mort de ce dernier). L'introduction d'une espèce auxiliaire peut toutefois provoquer des dommages collatéraux (par exemple, l'action sur d'autres espèces que le bio-agresseur). La mise au point d'une lutte biologique nécessite des connaissances poussées sur l'écologie et la physiologie des organismes impliqués ; elle s'inscrit ainsi dans la logique de production intégrée. De plus, la lutte biologique présente des disparités dans son développement et son efficacité, en fonction du type de culture et des procédés employés. Ainsi, pour les cultures pérennes (viticulture, arboriculture) et pour les cultures sous serres, la lutte biologique constitue une alternative utilisable et efficace, alors que pour les grandes cultures, elle rencontre des difficultés dans sa mise en place et son efficacité (Bonamy *et al.*, 2008).

1.3.2. Lutte agronomique

La lutte agronomique est l'ensemble des méthodes culturales défavorisant les ravageurs des cultures. Une telle démarche repose essentiellement sur la conception de systèmes de culture permettant d'agir sur le stock de bio-agresseurs. Différentes pratiques culturales peuvent être développées à cet effet pour réduire l'action des ravageurs. Il s'agit de pratiques utilisant les rotations de cultures, les associations de plantes, l'anticipation ou le retardement des saisons de semis ou de récolte, le choix de variétés résistantes, la gestion des résidus de cultures, le sarclage des mauvaises herbes aux alentours des plantations, les jachères, etc (Charbonnier *et al.*, 2015).

1.3.3. Méthodes alternatives à la lutte chimique

Les moyens de protection des récoltes ou des cultures basés sur les savoir-locaux utilisant les extraits de plantes, sont une alternative pour la préservation de la santé humaine et de l'environnement (Ngamo et Hance, 2007). En effet, la réduction de l'emploi des pesticides chimiques due à l'utilisation des extraits de plantes contribue énormément à la réduction de la pollution de l'environnement et permet d'améliorer la santé des populations (Bonzi, 2007). Les biopesticides sont généralement moins toxiques que les produits synthétiques, et moins susceptibles d'entraîner une résistance chez les ravageurs. L'huile de margousier par exemple, contient de l'azadirachtine, qui perturbe le cycle biologique de nombreux insectes nuisibles. Un autre biopesticide, fabriqué à partir du champignon *Beauveria bassiana*, est très efficace contre la fausse teigne des crucifères, une espèce nuisible du chou qui résiste aux insecticides à base de pyréthrinioïde (FAO, 2012). Mais, leurs préparations demandent beaucoup de temps et un travail souvent pénible. Cela présente par conséquent un problème pour les grandes superficies. Pour les préparations de neem (*Azadirachta indica*) (feuilles, fruits ou écorces) par exemple elles exigent, pour être efficaces, d'épandre 15 litres à l'hectare. Il y a non seulement le problème de la disponibilité des arbres, mais aussi le transport de la solution destinée à traiter de grandes superficies (Ouédraogo, 2011).

1.3.4. Lutte chimique

C'est une méthode de lutte qui consiste à l'emploi de composés chimiques naturels (mercure, arsénates,...) ou de synthèse (composés chlorés, organiques, organophosphorés,...) qui s'avèrent être toxiques pour certaines classes d'êtres vivants. Leur toxicité peut s'exercer par contact ou par ingestion. Certains composés organophosphorés dits systémiques pénétrant dans la plante cultivée sont toxiques pour les ravageurs qui consomment ultérieurement la plante. En culture maraîchère, la lutte chimique a montré son efficacité car elle a permis une amélioration des rendements et de la qualité des produits (Charbonnier *et al.*, 2015). Mais la protection de ces cultures, soumises à une forte pression des ravageurs a entraîné une utilisation croissante de pesticides pouvant avoir des effets néfastes sur les produits, la santé humaine et sur l'environnement (Sougnabé, 2010). Au Burkina Faso, les travaux de Sakandé (2016), ont mis en évidence la présence de l'Acétamipride, de la Cyperméthrine et du Profenofos dans des échantillons de chou issus de sites maraîchers. En outre, des malaises dus aux traitements

phytosanitaires des champs dans la zone cotonnière du Gourma (Burkina Faso) ont été signalés par les producteurs (Thiam et Sagna, 2009).

1.3.5. Lutte intégrée

On parle de lutte intégrée lorsqu'on met en œuvre une combinaison rationnelle de mesures biologiques, biotechnologiques, chimiques, physiques, culturales ou variétales dans laquelle l'emploi de produits chimiques phytosanitaires est limité au strict nécessaire pour maintenir la présence des organismes nuisibles en dessous du seuil à partir duquel apparaissent des dommages ou une perte économique inacceptable (d'après la Directive européenne 91/414). Le principe est donc de faire appel aux différentes méthodes de lutte préventives ou curatives, biologique, mécanique, culturale, génétique et chimique. En limitant au strict nécessaire le recours à la lutte chimique, la protection intégrée apparaît comme un moyen de réduire les pollutions diffuses par les produits d'origine chimique. En lutte intégrée, les produits de traitement ne doivent être utilisés:

- que s'ils sont indispensables et qu'aucune autre méthode de lutte ne s'est avérée suffisamment efficace ou représente une charge économique sans mesure avec la valeur du produit commercialisable;
- que s'ils ne présentent pas de risque pour l'environnement, et spécialement s'ils sont assez sélectifs vis-à-vis des agents antagonistes ou des prédateurs naturels (Paré et Toé, 2011).

1.4. Notion de durabilité agricole

Le terme « durabilité » est aujourd'hui largement utilisé dans les milieux du développement, mais que signifie-t-il au juste ? Selon le dictionnaire, la « durabilité » se dit de « la continuité d'un effort, la capacité de pouvoir durer et ne pas chuter ». Dans le contexte de l'agriculture, la « durabilité » se réfère principalement à la capacité de rester productif tout en maintenant la base des ressources. A titre d'exemple, le Comité de Consultation Technique du Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale (CCT/GCRAI, 1988) déclare que « l'agriculture durable consiste à gérer de manière efficace les ressources utilisables par l'agriculteur dans le but de satisfaire les besoins changeants de l'être humain, tout en veillant au maintien, voire à l'amélioration de la qualité de l'environnement ainsi qu'à la préservation des ressources naturelles ». Aujourd'hui, l'agriculture durable est perçue d'après la définition

de Zham et *al.* (2015), comme une agriculture écologiquement saine, économiquement viable, socialement juste et humaine. En d'autres termes, une agriculture durable doit pouvoir répondre aux besoins du présent sans pour autant mettre en péril ceux des générations futures. Mais dans les exploitations agricoles, les différentes pratiques auxquelles s'adonnent les producteurs ne sont pas toujours de nature à garantir un environnement sain. Ce qui pourrait donc mettre en cause la notion de durabilité dans ces exploitations.

Chapitre II. Généralités sur les pesticides

2.1. Définition(s)

Selon le Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides de la FAO (2002), un pesticide est « toute substance ou association de substances qui est destinée à repousser, détruire ou combattre les ravageurs (y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales) et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, ou des aliments pour animaux, ou qui peut être administrée aux animaux pour combattre les insectes, les arachnides et les autres endo- ou ecto-parasites. Le terme inclut les substances destinées à être utilisées comme régulateurs de croissance des plantes, comme défoliants, comme agents de dessiccation, comme agents d'éclaircissage des fruits ou pour empêcher la chute prématurée de ceux-ci, ainsi que les substances appliquées sur les cultures, avant ou après la récolte, pour protéger les produits contre la détérioration durant l'entreposage et le transport ». De ces définitions, l'on constate que les pesticides peuvent avoir un double rôle notamment l'élimination de la population des ennemis ou non ennemis des cultures et la répulsion. Mais ces actions d'élimination et de répulsion sont l'apanage de la composition de la substance active contenue dans le pesticide et de son mode d'action.

2.2. Classification des pesticides

Les pesticides peuvent être classés selon les trois (3) critères suivants: les organismes vivants visés, les caractéristiques chimiques et l'usage (Calvet *et al.*, 2005).

2.2.1. Classification selon l'ennemi ciblé

Selon les organismes nuisibles qu'ils doivent combattre, on distingue plusieurs catégories de pesticides dont les principales sont :

- les herbicides, qui luttent contre les plantes adventices des cultures ;
- les fongicides, qui luttent contre les champignons pathogènes ;
- les insecticides, qui luttent contre les insectes nuisibles.

À ces trois principaux groupes se rajoutent : les acaricides (pour la lutte contre les acariens, et qui sont souvent intégrés aux insecticides), les rodenticides (contre les petits rongeurs), les nématicides (contre les vers), les molluscicides (contre les escargots et les limaces), les taupicides (contre les taupes), les corvifuges ou corvicides (contre les corbeaux), les médiateurs chimiques (phéromones) (MEF, 2006).

2.2.2. Classification selon les caractéristiques chimiques

Calvet *et al.*, (2005) distinguent trois catégories de pesticides selon leurs caractéristiques chimiques.

2.2.2.1. Les pesticides inorganiques

Selon ces mêmes auteurs, les pesticides inorganiques sont très nombreux et anciennement employés dans l'agriculture. Ce sont par exemple le cuivre et le soufre. Mais de nos jours avec la découverte de la chimie organique, ils ne sont plus employés comme insecticides. Seul le chlorate de sodium est encore employé comme désherbant total. L'essentiel de ces pesticides inorganiques sont des fongicides à base de soufre et de cuivre sous diverses formes.

2.2.2.2. Pesticides organométalliques

Ce sont des fongicides dont la molécule est constituée par un complexe d'un métal tel que le zinc et le manganèse et d'un anion organique dithiocarbamate. Comme exemples de pesticides organométalliques nous pouvons citer le mancozèbe et le manèbe (Calvet *et al.*, 2005).

2.2.2.3. Pesticides organiques

Les pesticides organiques contiennent du carbone. La plupart des pesticides organiques sont composés de dérivés du pétrole. Les pesticides organiques provenant de plantes sont appelés des pesticides botaniques. Les chimistes ont classé les pesticides organiques en groupes ou familles partageant des structures moléculaires semblables. Les pesticides organiques d'un groupe présentent souvent des propriétés semblables. Les principaux groupes organiques sont présentés ci-dessous Calvet *et al.*, (2005).

2.2.2.3.1. Pesticides organophosphorés (OP)

La plupart des pesticides organophosphorés sont des insecticides. Ils ont souvent une courte persistance dans le sol, dans la nourriture et dans les aliments pour animaux. Tous les OP sont des inhibiteurs du cholinestérase. Les insecticides OP courants comprennent le phorate, le malathion, le diazinon et le diméthoate. Ces produits présentent une toxicité aiguë bien plus forte que les organochlorés. Leur grande toxicité en fait une des causes les plus fréquentes d'empoisonnement dans le monde agricole (Bonnefoy *et al.*, 2012).

2.2.2.3.2. Pesticides du groupe des carbamates

Les carbamates peuvent être des insecticides, des fongicides et des herbicides. La plupart d'entre eux ont une courte persistance dans l'environnement. Le niveau de toxicité des pesticides du groupe des carbamates peut varier de légèrement toxique à très toxique. Les insecticides du groupe des carbamates sont des inhibiteurs du cholinestérase. Les carbamates constituent une famille polyvalente puisqu'on y trouve aussi bien des herbicides que des fongicides ou des insecticides (Calvet *et al.*, 2005).

2.2.2.3.3. Pesticides organochlorés (OC)

Les pesticides organochlorés sont rarement utilisés de nos jours parce qu'ils peuvent subsister pendant longtemps dans l'environnement. Ils tendent également à s'accumuler dans les tissus adipeux des humains et des animaux. Certains insecticides organochlorés dont la persistance est plus courte et dont la toxicité est moindre pour les mammifères sont encore disponibles. L'endosulfan et le méthoxychlore sont des exemples de pesticides organochlorés (Calvet *et al.*, 2005).

2.2.2.3.4. Pesticides de type triazine

Les composés de ce groupe chimique sont tous des herbicides, légèrement toxiques pour les humains. Il s'agit notamment de l'atrazine, de l'hexazinone, de la métribuzine et de la simazine. La plupart d'entre eux sont des insecticides systémiques et sont absorbés par les racines des plantes. Quelques-uns d'entre eux sont absorbés par les feuilles, puis se répandent dans la plante. Les triazines sont persistantes et les résidus peuvent demeurer dans le sol pendant longtemps (Calvet *et al.*, 2005).

2.2.3. Classification selon l'usage

Les pesticides sont utilisés dans plusieurs domaines d'activité pour lutter contre les organismes vivants nuisibles, d'où des usages différents. Il existe six catégories de pesticides classés selon leurs usages, c'est-à-dire, selon la destination des traitements :

- les cultures ; ce sont des pesticides utilisés en agriculture pour maintenir un bon état sanitaire des sols et des végétaux. Ils sont les plus nombreux, principalement des insecticides-acaricides, des fongicides et des herbicides ;
- les bâtiments d'élevage ; il s'agit surtout des insecticides et de bactéricides ;
- les locaux de stockage des produits végétaux ; ce sont des insecticides et des fongicides ;
- les zones non-agricoles ; il s'agit principalement des herbicides ;
- les bâtiments d'habitation ; ce sont des insecticides, des rodenticides, des bactéricides et des fongicides ;
- l'homme et les animaux ; il s'agit d'insecticides et de fongicides utilisés pour l'hygiène humaine et vétérinaire (Calvet *et al.*, 2005).

2.3. Toxicité des pesticides

La toxicité d'un pesticide est un facteur primordial dans l'évaluation du risque sanitaire et écologique durant son emploi. Ainsi, elle est influencée par la température, l'air et la lumière qui sont susceptibles de modifier les propriétés du pesticide (PAN/CTA, 1993).

La toxicité d'un pesticide pour un organisme vivant donné va dépendre principalement de sa rémanence dans l'environnement et de la matière active contenue dans le produit.

De ce fait, on a la toxicité aiguë et la toxicité chronique ou indirecte.

2.3.1. Toxicité chronique ou indirecte

Cette toxicité dépend de l'absorption répétée de petites doses de produits. La persistance dans l'environnement et la biomagnification au niveau des êtres vivants sont des facteurs qui sont à l'origine de la toxicité chronique.

2.3.2. Toxicité aiguë

Elle se caractérise par une DL₅₀ ou dose létale, désignant la quantité exprimée en milligramme de matière active par kilogramme de poids vif nécessaire pour provoquer la mort de 50% des animaux de laboratoire (rats, souris ou lapins) auxquels elle est administrée en seule fois (Tableau I). Pour les espèces, l'on parlera de concentration létale médiane (CL₅₀). La CL₅₀ indique la concentration létale médiane du produit antiparasitaire formulé.

Tableau I : Catégorie de toxicité aiguë des produits chimiques

Classe		DL50 pour le rat (en mg/kg de poids vif)			
		Voie orale		Voie cutané	
		Solides	liquides	Solides	Liquides
Ia	Extrêmement dangereux	≤5	≤20	≤10	≤40
Ib	Hautement dangereux	5-50	20-200	10-100	40-400
II	Modérément dangereux	50-500	200-2000	100-1000	400-4000
III	Peu dangereux	≥500	≥2000	≥1000	≥4000
IV	Non dangereux en usage	≥2000	≥4000		

Source : OMS 2005

2.4. Devenir des pesticides

On estime qu'environ 2,5 millions de tonnes de pesticides sont appliqués chaque année sur les cultures de la planète. La part qui entre en contact avec les organismes indésirables cibles ou qu'ils ingèrent est minime (Hayo, 1997). Selon Pimentel (1995), la plupart des chercheurs l'évaluent à moins de 0,3%, ce qui veut dire que 99,7% des substances déversées s'en vont « ailleurs ». C'est donc dire qu'une quantité importante de pesticides appliqués sur les cultures ou sur tout autre organisme se retrouve dans les autres compartiments de l'écosystème. Selon Calvet *et al.* (2005), le devenir des pesticides dans l'environnement, c'est-à-dire, leur rétention, leur transport et leur dégradation, dépend de leurs propriétés ainsi que de celles des différents compartiments concernés, le sol, les eaux, et l'atmosphère.

2.4.1. Dans le sol

Apportés au sol, les pesticides ne restent pas immobiles mais se déplacent sous l'effet de plusieurs phénomènes de transport. Ces déplacements ont lieu sur des distances et à des vitesses très variables selon les propriétés propres à chaque pesticide, mais aussi selon la structure du

sol et son régime hydrodynamique. Il en résulte une dispersion qui permet leur absorption par les organismes vivants mais qui peut aussi les amener loin de l'endroit où ils ont été appliqués, dans les eaux superficielles, dans les eaux souterraines ou dans l'atmosphère. Aussi, dans le sol, un pesticide peut être retenu par les minéraux et la matière organique (Calvet *et al.*, 2005). Ainsi, qu'ils soient apportés au sol volontairement ou non, les pesticides sont soumis à des phénomènes qui conduisent à leur rétention, leur dégradation et leur transport. Ces phénomènes de transport sont un aspect important du devenir des pesticides dans les sols en jouant un rôle clé dans la biodisponibilité des pesticides et la pollution des milieux naturels (Calvet *et al.*, 2005).

2.4.2. Dans l'eau

Le devenir d'un pesticide dans l'eau est lié principalement aux phénomènes de lessivage, de ruissellement et d'infiltration. Le lessivage des pesticides correspond à un processus d'entraînement des molécules de la surface du sol, ou des couches superficielles du sol vers les eaux profondes par lixiviation (nappes phréatiques), soit de la zone non saturée à la zone saturée du sol (Wohlfahrt, 2008) entraînant la pollution des eaux. L'importance de cette pollution dépendra entre autres, des propriétés du pesticide (hydrosolubilité, coefficient de partage octanol/eau, demi-vie, masse moléculaire,...), de celles du sol, de la vitesse d'infiltration et de l'épaisseur de la zone. Dans beaucoup de sols, la présence de macropores (fissures, galeries de vers de terre, passage de racines) favorise l'entraînement des pesticides par lixiviation, lesquels sont emportés rapidement vers le sous-sol et la nappe (Beven et Germann, 1982).

2.4.3. Dans l'atmosphère (air)

La distribution d'un pesticide dans l'atmosphère dépend fortement des propriétés physico-chimiques ainsi que des conditions météorologiques. Ils sont éliminés de l'atmosphère par dépôts secs et / ou humides (via la pluie) et par réactions chimiques (Charbonnier *et al.*, 2015). En phase gazeuse, interviennent des réactions impliquant des oxydants atmosphériques tels que les radicaux hydroxyles (HO), l'ozone (O₃) et les radicaux nitrates (NO₃), ainsi que la photolyse par rayonnement solaire. Une partie des pesticides retombe au sol entraînée par les précipitations et une autre partie est associée aux aérosols particuliers qui s'y déposent par temps sec (Charbonnier *et al.*, 2015).

La perte par dérive est celle qui survient directement pendant l'application du produit par évaporation et par le vent. Par compte, celle perdue par volatilisation a lieu après l'application, par l'effet du vent ou par évaporation.

2.5. Risques des pesticides sur les organismes non-cibles

Afin de mieux concilier productivité agricole et respect des écosystèmes, il est indispensable de comprendre les impacts des pesticides sur les organismes non cibles (Charbonnier *et al.*, 2015). Les traitements phytosanitaires induisent des effets toxiques létaux, des effets toxiques non létaux sur les organismes vivants et entraînent l'apparition de résistance des organismes et la perturbation des écosystèmes (Calvet *et al.*, 2005). En effet, conçus pour tuer des organismes vivants, les pesticides ont des effets létaux sur des organismes non visés, la faune aquatique, en particulier (Garic, 1995). D'après cet auteur, les pyréthrinoïdes et les composés organochlorés ont une toxicité aiguë et chronique très élevées que celles des composés organophosphorés. Quant aux carbamates, ils sont moins toxiques à l'égard des poissons mais le sont beaucoup plus pour les invertébrés. Pour les herbicides, la toxicité se manifeste surtout pour la flore aquatique.

Selon Calvet *et al.* (2005), les effets létaux non toxiques sont souvent moins marqués mais fréquemment observés bien qu'ils soient difficiles à mettre en évidence sur le terrain. Ils se traduisent par des altérations biochimiques, physiologiques et histologiques qui atteignent diverses fonctions (fonction de reproduction, en particulier). De même, l'impact des insecticides sur les parasitoïdes peut avoir des conséquences écologiques et économiques, affectant le rendement des cultures (Charbonnier *et al.*, 2015).

2.6. Estimation des risques environnementaux des pesticides

Estimer les risques de pollution des sols, de l'air et des eaux par les pesticides, c'est estimer les risques qu'ils ont de recevoir des pesticides et c'est aussi estimer les risques d'exposition des organismes vivants présents dans ces compartiments. La meilleure information est donnée par les mesures effectuées sur le terrain, mais on sait qu'elles sont lourdes à mettre en œuvre et leur multiplication n'est généralement pas possible. Il est donc nécessaire de pouvoir disposer de moyens permettant de les estimer pour des besoins de recherche, de développement de produits et de réglementation. L'estimation est alors réalisée à l'aide de démarches qualitatives ou avec des méthodes quantitatives basées sur des modèles numériques ou sur des indicateurs (Calvet *et al.* 2005).

2.7. Estimation des risques suivant les propriétés physico-chimiques des pesticides

Le devenir des pesticides dans l'environnement, c'est-à-dire, leur rétention, leur transport et leur dégradation, dépend de leurs propriétés ainsi que de celles des différents compartiments concernés : le sol, les eaux et l'atmosphère (Calvet *et al.*, 2005). Les pesticides présents dans le sol et l'eau adoptent différents comportements selon leurs propriétés physicochimiques. Par exemple, il est possible d'évaluer le niveau de dégradation dans le sol en fonction de la demi-vie au sol en conditions aérobies (TD_{50} sol), la demi-vie dans l'eau en conditions aérobies (TD_{50} eau), la mobilité dans le sol exprimée par le coefficient d'adsorption (K_{oc}), la solubilité dans l'eau ainsi que la tendance à la bioaccumulation (P_{oc}) dans les organismes vivants. Le temps de demi-vie d'une matière active est une propriété qui varie beaucoup selon les conditions dans lesquelles elle est mesurée. Le type de sol, les conditions aérobiques, l'acidité, le taux de matière organique influenceront donc la persistance d'un produit dans le sol (Samuel *et al.*, 2012).

2.8. Utilisation des modèles numériques et d'indicateurs

Plusieurs modèles et indicateurs ont été développés afin d'évaluer les risques des pesticides et d'apporter des éléments de réponse pour le choix des pesticides et des pratiques de traitements susceptibles d'avoir le moins d'impacts sur l'environnement et sur l'homme. L'utilisation de modèles numériques de simulation permet d'obtenir des flux de concentrations en pesticides dans les différents compartiments de l'environnement (air, sol, eau, plante) (Mamy *et al.*, 2008). Mais leur utilisation reste délicate et complexe à mettre en œuvre sur un site qui ne dispose pas de jeu de données conséquent (Bockstaller *et al.*, 2015 ; Ecrin, 2002). Cependant, leur complexité n'a pas été un frein à leur développement. Par exemple, le modèle HAIR (HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk) a été développé pour évaluer l'impact des pesticides utilisés sur l'environnement et sur la santé humaine. C'est un ensemble d'indicateurs, qui sert d'outil d'évaluation de l'efficacité des politiques de l'Union Européenne visant une agriculture durable (Kruijne *et al.*, 2011). Ce modèle inclut cependant certaines relations empiriques spécifiques à l'Europe, ce qui le rend difficilement transposable. En plus du modèle HAIR, on peut citer d'autres types de modèles tels que MACRO (Jarvis *et al.*, 1994, 1995), PRZM (Pesticide root zone model) (Carsel *et al.*, 1985), etc. En plus des modèles d'évaluation d'impact de l'usage des pesticides en production agricole, il existe des indicateurs d'évaluation.

Les modèles se distinguent des indicateurs par le nombre d'équations enchaînées dans un logiciel dédié (Surdyk et Vernoux, 2011). Les indicateurs se basent généralement sur le calcul

de note ou score de risque. Ils diffèrent entre eux par les processus qu'ils agrègent et par la manière dont les processus sont agrégés et par les paramètres qui sont pris en compte.

L'indicateur GUS (Groundwater Ubiquity Score) (Gustafson, 1989) est un indicateur qui permet de définir une classe de mobilité pour une substance. Comme autre exemple, nous avons l'indicateur EIQ (Environmental Impact Quotient) (Kovach *et al.*, 1992) qui estime l'impact environnemental d'un pesticide sur l'environnement, l'agriculteur et le consommateur. L'indicateur IRPeQ (Indicateur de Risque des Pesticides du Québec) est un outil de diagnostic et d'aide à la décision conçu pour optimiser la gestion des produits phytosanitaires, développé par les ministères de l'agriculture et de l'environnement du Québec (Samuel *et al.*, 2007). Quant à l'indicateur EPRIP (Environmental Potential Risk Indicator for Pesticide) développé par Trevisan *et al.* (2009), il prend en compte le devenir des substances dans plusieurs compartiments de l'environnement (air, sol, eaux souterraines, eaux superficielles). Il est basé sur le calcul d'un ratio de concentrations environnementales prédites (PEC : Predicted environmental concentration) pour chaque compartiment.

En plus des modèles et des indicateurs d'évaluation des risques des traitements phytosanitaires, des moyens réglementaires et législatifs ont été mis en place par les Etats pour contrôler l'usage des produits chimiques.

2.9. Règlementations sur l'usage des pesticides

Les législations et réglementations phytosanitaires sont des instruments juridiques dont la mise en œuvre permet à un pays d'empêcher non seulement l'introduction de nouveaux ennemis dangereux pour les cultures mais aussi celle de molécules chimiques non adaptées ou nocives pour les hommes et l'environnement. Afin d'atteindre l'objectif d'une agriculture durable, tout en assurant la sécurité alimentaire des populations, le Burkina Faso a adopté un ensemble de textes législatifs et réglementaires nationaux dans le but d'une gestion sécurisée des pesticides.

2.9.1. Au niveau international

La Convention de Rotterdam: échange d'informations et consentement préalable (IPC)

Entrée en vigueur le 24 février 2004, la convention de Rotterdam a pour objectif:

- de promouvoir une responsabilité partagée et des efforts de coopération entre les

parties ;

- de contribuer à une utilisation des produits chimiques dangereux respectueuse de l'environnement.

Pour atteindre ces objectifs, la Convention comprend deux dispositions clés, à savoir la procédure d'Information et de Consentement Préalables (ICP ou PIC en anglais pour Prior Informed Consent) et l'Echange d'informations.

La Convention de Stockholm : débarrasser le monde des POPs (Polluants Organiques Persistants)

La Convention de Stockholm est entrée en vigueur le 17 mai 2004. Elle a été ratifiée par le Burkina Faso le 20 juillet 2004. Elle a été conçue pour préserver la santé et l'environnement contre les POPs. Ceux-ci désignent des substances chimiques très toxiques qui persistent dans l'environnement et peuvent donc traverser de longues distances et qui tendent à avoir un effet bio accumulateur alors qu'ils remontent la chaîne alimentaire. La Convention de Stockholm exige des pays, qu'ils interdisent la production des pesticides et des produits chimiques industriels (POPs), qu'ils réduisent et, chaque fois que cela est faisable, qu'ils suppriment les rejets non-intentionnels de sous-produits chimiques.

2.9.2. Au niveau sous régional

Dans le souci d'accroître le rendement des cultures, l'usage de pesticides de synthèse peut s'avérer être nécessaire dans la lutte contre les ravageurs de cultures. Ainsi, pour s'assurer que les pesticides utilisés dans les différents pays du Sahel soient efficaces, d'une qualité appropriée et ne posent pas de risques inacceptables pour l'homme et l'environnement, les Etats membres du Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS), dont le Burkina Faso, ont signé, en 1992, " la réglementation commune aux Etats membres du CILSS sur l'homologation des pesticides ".

L'objectif principal de cette réglementation commune était de mettre en commun l'expertise en évaluation et en gestion des produits phytopharmaceutiques de l'ensemble des Etats du CILSS pour l'homologation des pesticides. Le Comité Sahélien des Pesticides (CSP), organe d'exécution de la réglementation commune, est devenu opérationnel en 1994. Il évalue les dossiers d'homologation soumis par les firmes phytopharmaceutiques et octroie les autorisations de vente pour l'ensemble des Etats membres. Cette Réglementation a été révisée en 1999 pour tenir compte des divers développements dans la gestion et la législation des

pesticides au niveau des Etats membres ainsi que des expériences dans les procédures d'homologation des pesticides acquises par le CSP depuis sa création. Il est à noter que les pesticides (POPs et les produits dangereux) des Conventions de Rotterdam (sauf certains qui sont strictement réglementés) et de Stockholm ne peuvent plus être autorisés par le CSP. Ils sont donc de ce fait interdits au Burkina Faso.

2.9.3. Au niveau national

Conformément à la réglementation commune aux Etats membres du CILSS sur l'homologation des pesticides, le Burkina Faso, tout comme les autres pays du CILSS, ne doit pas disposer d'une structure autonome d'homologation des pesticides. Les opérations d'homologation sont assurées par le Comité Sahélien des Pesticides (CSP). Le Burkina Faso a créé en août 2000, une Commission Nationale de Contrôle des Pesticides (CNCP) chargée d'appliquer au niveau national les décisions du CSP à l'issue de ses sessions.

Au regard de l'article 23 de ladite réglementation, il a été promulgué deux (02) lois et leurs textes d'applications :

- Loi N°041/96/ADP du 08 novembre 1996 instituant un contrôle des pesticides au Burkina Faso ;
- Loi N°006-98/AN du 26 Mars 1998 portant modification de la loi N°041/96/ADP du 08 Novembre 1996 instituant un contrôle des pesticides au Burkina Faso.

Cette CNCP n'est vraiment devenue fonctionnelle qu'en 2007 avec des activités :

- d'information/sensibilisation des acteurs ;
- d'examen et d'adoption des avant projets de textes réglementaires sur les procédures de contrôle des pesticides ;
- d'élaboration d'un manuel de contrôle et d'inspection des pesticides au Burkina Faso.

Mais la mise en œuvre de cette réglementation rencontre d'énormes difficultés.

Les structures techniques chargées de cette mission n'auraient ni les moyens matériels et financiers, ni l'appui politique nécessaire. Les pesticides employés ne sont pas toujours ceux qui sont homologués (Toé et *al.*, 2004).

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

3.1. Localisation de la zone d'étude

L'étude a été conduite dans les périmètres maraîchers de Dogona et de Sakaby situés au Nord-Est de la ville de Bobo-Dioulasso à la latitude Nord 11°12'6'' et à la longitude Ouest 4°27'25'' (figure 1). La pratique de l'activité maraîchère dans ces sites a existé depuis le temps colonial. Mais avec le développement galopant de la ville, les superficies cultivables se sont très vite rétrécies (Robineau, 2013). Cela a conduit à une intensification des activités maraîchères avec pour corollaire, une forte consommation d'intrants agricoles tels que les pesticides. Ces sites disposent permanemment d'eau d'irrigation.

Située à l'Ouest du Burkina Faso, Bobo-Dioulasso est la deuxième plus grande ville du Burkina Faso. Chef-lieu de la province du Houét, elle couvre une superficie de 11540 km² soit 4,2% du territoire national (Thiombiano, 2012). Sa population est estimée à 813610 habitants selon le dernier découpage administratif de 2012 (INSD, 2015). Les groupes sociaux majoritaires qui peuplent la ville de Bobo-Dioulasso sont les Dioula, les Bobo et les Mossi (INSD, 2007).

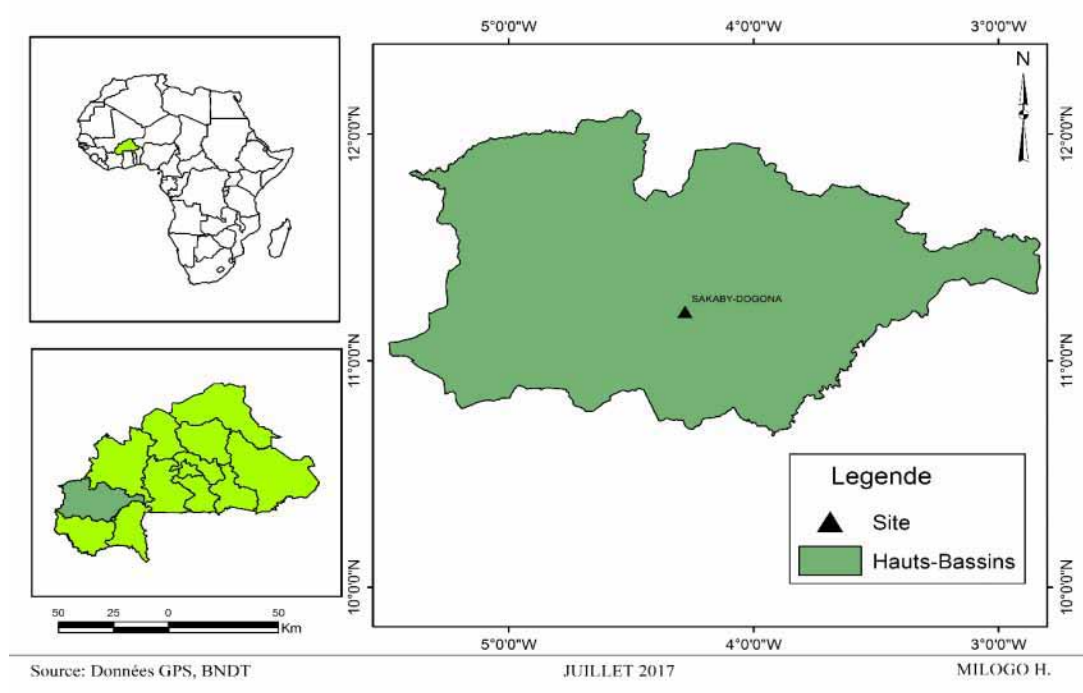


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

3.1.1. Climat

Bobo-Dioulasso est localisé dans une zone climatique de type sud soudanien (Guinko., 1984) marqué par des précipitations annuelles abondantes comprises en moyenne entre 1100 et 1200 mm réparties sur 5 à 6 mois (mai à octobre) et une saison sèche, sur 5 à 6 mois (novembre-avril). Les mois les plus chaudes de l'année sont mars et avril avec des températures oscillant entre 36 et 37°C et celles froides débutent de novembre à février avec des températures comprises entre 25 et 29°C.

En 2016, la station météorologique de l'aéroport de Bobo-Dioulasso a enregistré une quantité d'eau égale à 1200,6 mm en 85 jours. La quantité d'eau maximale a été enregistrée le mois d'août avec 376 mm en 22 jours et celle minimale dans le mois de février cumulant 0,1 mm en 1 jour (Figure 2 et 3). Quant à la température, le mois d'avril a enregistré la température, la plus élevée avec 32,2°C et le mois de janvier reste le mois ayant enregistré la température la plus basse avec 26,2°C.

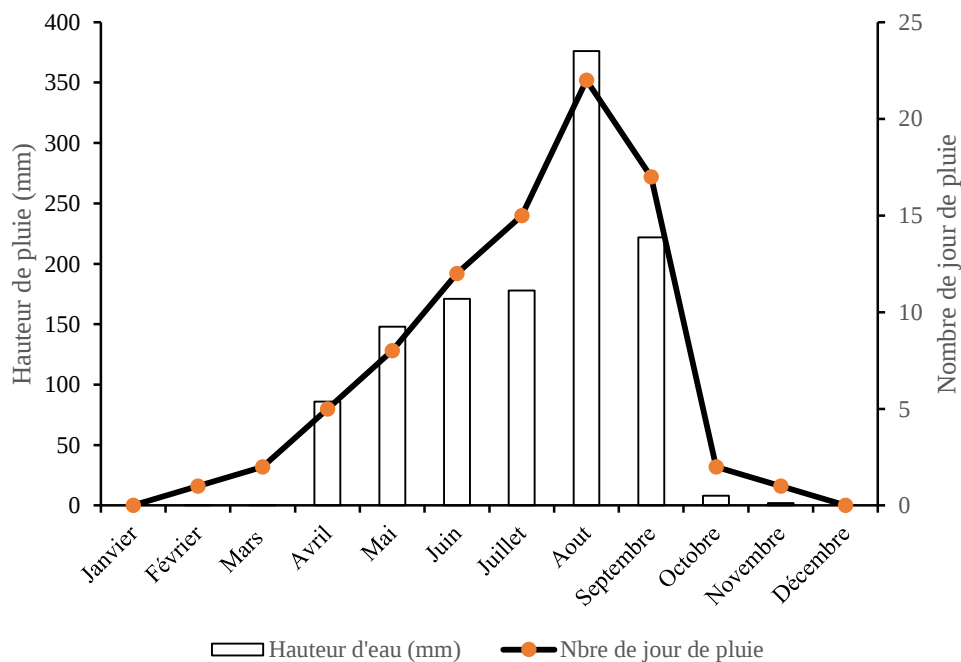


Figure 2 : Pluviométrie à Bobo-Dioulasso en 2016 (Source service météorologique de l'aéroport de Bobo-Dioulasso).

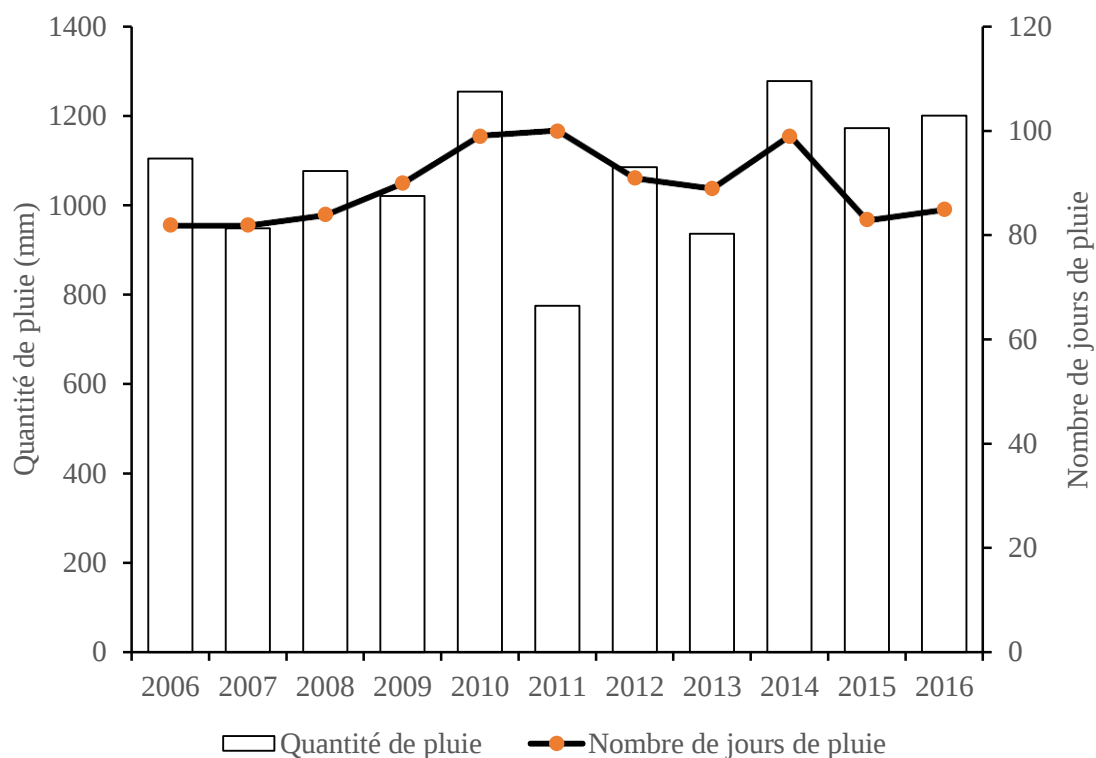


Figure 3 : Pluviométrie des 10 dernières années à Bobo-Dioulasso (Source : service météorologique de l’aéroport de Bobo-Dioulasso).

3.1.2. Réseaux hydrographiques

La ville de Bobo-Dioulasso a un important réseau hydrographique dont le bassin du Houét, le bassin du Kou et le bassin de la Comoé.

Les cours d’eau du bassin Houét et de la Comoé sont alimentés par les eaux pluviales ainsi que l’eau provenant de la ville. Par contre le bassin du Kou localisé dans la forêt classée du Kou est la principale source d’approvisionnement en eau potable de la ville.

Le climat favorable au développement d’activités agricoles, couplé aux évolutions des relations commerciales avec les pays voisins (comme la Côte d’Ivoire ou le Ghana), ont influencé les dynamiques agricoles de la région de Bobo-Dioulasso, devenue un bassin de production maraîchère et une des grandes zones d’élevage du pays (Robineau, 2013).

3.1.3. Relief

Le relief de la province du Houét est peu accidenté et se caractérise par une chaîne rocheuse, des bas-fonds et des plaines aménageables et qui de ce fait se présente comme une zone

constituant un attrait agropastoral de grande importance. L'altitude moyenne est de 420 m et sa structure géologique est composée d'un socle granitique profond, un gneiss, et une série de grès (Zida, 2009).

3.1.4. Végétation

La végétation est le reflet des conditions climatiques nettement moins arides qui caractérisent le secteur sud soudanien : c'est le domaine des savanes qualitativement variées en taille, en densité et dans la nature des espèces floristiques. En effet, on note l'existence de savanes arbustives, de savanes arborées, de savanes boisées, de forêts claires, de forêts galeries et de formations ripicoles (Fontès et Guinko, 1995).

3.1.5. Sols

La synthèse des travaux de Fontès et Guinko (1995), à partir de ceux de l'ORSTOM (Boulet, 1976) montrent que les types de sols rencontrés à l'ouest du Burkina Faso et plus précisément dans la région des Hauts-Bassins sont constitués des:

- sols ferrugineux lessivés couvrant les plus grandes étendues. Ce sont des sols à texture variable, généralement à tendance sableuse dans les horizons de surface et argileuse dans les horizons plus profonds (> 40 cm).
- sols hydromorphes, installés sur des alluvions fluviales ou sur des matériaux d'altération fins. De faible drainage, ils s'engorgent régulièrement en saison des pluies
- sols bruns eutrophes, caractérisés par une fraction argileuse importante. La présence d'argile gonflante leur confère une forte capacité d'échange et un taux de saturation élevé ;
- sols ferralitiques dont le profil s'apparente à celui des sols ferrugineux, mais leurs propriétés physiques et chimiques les différencient nettement. Ils se distinguent notamment par la texture argileuse kaolinitique de l'horizon B qui leur confère une perméabilité satisfaisante.

DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre IV : Matériel et méthodes

4.1. Matériel

4.1.1. Outils de collecte de données sur les exploitations maraîchères

Un GPS a servi pour la localisation des exploitations maraîchères sélectionnées ainsi que pour les mesures de leurs superficies. La caractérisation de ces exploitations a été faite au moyen d'un questionnaire structuré autour des principaux points suivants :

- les caractéristiques sociodémographiques des exploitants maraîchers ;
- l'historique et la structure de l'exploitation ;
- les pratiques culturales ;
- et les perceptions des producteurs de l'impact des pesticides sur l'eau et le sol.

4.1.2. Matériel de terrain

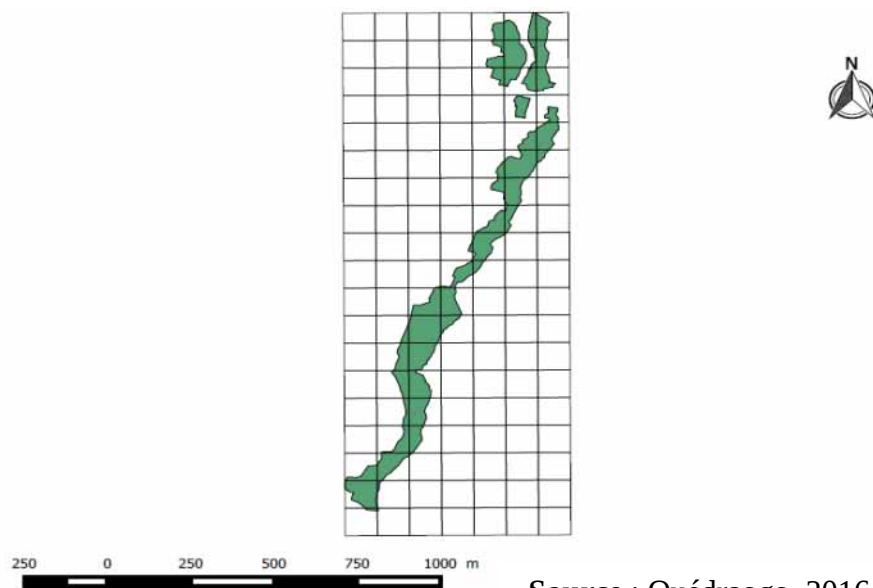
Pour les prélèvements d'échantillons de sols, le kit est composé de matériels suivants : sachets en polyéthylène, marqueurs indélébiles, seau en plastique, tarière et équipements de protection. Concernant les mesures *in situ*, la pente a été mesurée à l'aide d'un clinomètre Sunto. Une perche a servi à la mesure de la profondeur de l'eau. La distance entre les parcelles et le point d'eau le plus proche ainsi que la largeur du cours d'eau ont été mesurées grâce à un GPS et Google earth.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Caractérisation des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona

Le site maraîcher a d'abord été délimité à l'aide d'un GPS. Sur la base de cartes établies à l'aide du logiciel QGIS, un échantillonnage des parcelles est effectué de sorte à couvrir tout le site maraîcher de Sakaby et Dogona. Pour ce faire, les cartes ont été quadrillées en 15 mailles (figure 4). Les points d'intersection de ces mailles correspondent aux exploitations à sélectionner.

A l'aide des coordonnées géographiques, ces exploitations sont ensuite identifiées sur le terrain. Les points ne coïncidant pas avec une exploitation ont été remplacés par l'exploitation la plus proche.



Source : Ouédraogo, 2016

Figure 4 : Quadrillage du site de Sakaby

Les propriétaires des exploitations ainsi identifiées ont été soumis aux questionnaires d'enquête. Au total 30 producteurs ont été concernés par l'enquête. En plus de l'enquête, des observations directes, des mesures de superficie et la géo-référenciation des parcelles et des sources d'eau d'irrigation à l'aide d'un GPS sont réalisées. La profondeur du plan d'eau est mesurée à l'aide d'une perche suivant la méthode utilisée par Bayili, (2004). Elle consiste à plonger la perche dans l'eau puis à la retirer ; une mesure est effectuée à l'aide d'une règle graduée ou un mètre ruban. L'opération est répétée au moins à trois endroits différents afin de constituer une profondeur moyenne du cours d'eau.

Les pentes des exploitations ont été estimées par la méthode de lecture directe de la déclivité du terrain avec le clinomètre suunto. C'est une technique qui consiste à estimer la pente d'un terrain à l'aide du clinomètre et d'une mire pliante. On met la mire pliante ou le cas échéant un bâton auxiliaire à une autre extrémité de la ligne à mesurer où il y a au niveau de l'œil (environ 1,6 m) un point repère distinct. On vise par la suite avec le clinomètre depuis l'autre extrémité de la ligne de manière que le réticule du clinomètre et le point de repère coïncident. La déclivité du terrain peut être lue directement en pourcentage ou en degrés.

4.2.2. Traitement et analyse des données

Les données de caractérisation des exploitations maraîchères, ont d'abord été dépouillées manuellement avant d'être encodée à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for Social Science) version 20. Des analyses statistiques descriptives ont été faites à l'aide du logiciel

SPSS v20. Le tableur Microsoft Excel 2013 a été utilisé pour générer les graphiques et les diagrammes et le Microsoft Word 2013 pour le traitement de texte.

4.2.3. Estimation des risques liés aux pesticides chimiques

4.2.3.1. Prélèvement des échantillons de sols

Sur chacune des trente (30) exploitations retenues, des échantillons de sols ont été prélevés afin de déterminer le taux de carbone organique, la densité apparente et la texture du sol.

Le prélèvement s'est fait à l'aide d'une tarière selon la méthode décrite par Mathieu et Pieltain (1995), suivant la diagonale de la parcelle à une profondeur de 0-20 cm. Trois à six échantillons ont été prélevés dans chaque parcelle, puis mélangés pour constituer un échantillon moyen. Cet échantillon moyen a été soumis aux analyses de la granulométrie et du carbone organique.

Pour déterminer la densité apparente des sols, les échantillons de sols ont été prélevés à l'aide de kopeckis d'un volume de 100 cm³. Au total quatre-vingt-dix (90) échantillons ont été prélevés à raison de trois échantillons pour chacune des trente exploitations enquêtées. Ils ont été séchés à l'étuve (105°C), pendant 24 heures. La densité apparente a été calculée selon la formule suivante:

$Da = \frac{P_{sec}}{V}$ (1) avec *Da* : densité apparente ; *Psec* : Poids sec après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures et *V* : volume du kopeckis.

4.2.3.2. Analyse des échantillons de sols au laboratoire

Les analyses de sols ont été réalisées au laboratoire Sol-Eau-Plante de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Farako-Bâ.

Au préalable, les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre puis pilés et tamisés manuellement à l'aide d'un tamis de 2 mm de maille pour la granulométrie et 5 µm de maille pour le carbone organique.

- Le carbone total

Le carbone total du sol a été déterminé par la méthode Walkley-Black (1934) basée sur une oxydation à chaud (135°C). L'oxydation d'un échantillon est faite pendant 30 mn par une solution de bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en présence d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré. Le bichromate oxyde le carbone organique en gaz carbonique et les ions chromes

libérés s'associent avec les ions sulfates et donnent une couleur verte à la solution. L'excès du bichromate est dosé par du sel de Mohr $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH})_2$ en présence d'indicateur coloré.

- **La texture des sols**

La méthode densimétrique a été utilisée.

Le principe de la méthode repose sur le fait que la densité d'une suspension de terre à une profondeur donnée diminue au fur et à mesure que les particules se déposent. Sa valeur à des températures différentes est en relation empirique avec la dimension des particules, de sorte que, par le choix du temps de mesure, la densité observée fournira une estimation soit de la fraction limon plus argile soit de la fraction argile. Ainsi, au moyen d'un densimètre effilé, calibré à 20°C, on mesure la densité.

- **Préparation de la solution**

La préparation de la solution se fait à partir d'hexamétaphosphate de sodium ($\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$) et du carbonate de sodium (Na_2CO_3) 5% (dispersant). Elle sert à la dispersion des particules de terre en agitation pendant 2 heures. Une quantité de 50 ml de dispersant est prélevée, plus 250 ml d'eau distillée et un poids de 51 g de sol (sol à texture tendant plus à l'argile) est pesé ou 101 g (sol à texture tendant plus au sable). Le tout mélangé dans un bidon (1L) est agité pendant 2 heures avant d'effectuer les mesures des fractions.

- **Mesure de la fraction argile + limon (fraction A)**

Elle consiste d'abord à la mesure de la température de la solution après agitation vigoureuse à l'aide d'un agitateur ou à la main (agitation par retournement) pendant 1 minute. Ensuite le densimètre est plongé dans la solution délicatement et la lecture est faite sur la graduation du densimètre après 40 secondes. Ce résultat correspond à la fraction A.

- **Mesure de la fraction argile (fraction B)**

Après la première lecture, la solution est laissée au repos pendant 3 heures. Puis au bout des 3 heures, la température de la solution est mesurée à nouveau. Une deuxième lecture est faite sans agitation de la solution au préalable et la valeur lue est celle de la fraction B (argile).

- **Expression des résultats**

Calcul du taux de sable, limon et argile

Soit :

D_1 : densité mesurée à la fraction A ;

D_2 : celle de la fraction B ;

D_{1c} : densité D_1 corrigée ;

D_{2c} : densité D_2 corrigée ;

A (%) : taux limon + argile ;

B (%) : taux des argiles ;

P : poids de la prise d'essai.

On a donc :

- $A (\%) = \frac{D_{1c} \times 100}{P} \quad (2) ;$
- $B (\%) = \frac{D_{2c} \times 100}{P} \quad (3) ;$
- $\text{Sable} (\%) = 100 - A (\%) \quad (4) ;$
- $\text{Limon} (\%) = A (\%) - B (\%) \quad (5) ;$
- $\text{Argile} (\%) = B (\%) \quad (6).$

Correction de D_1 et D_2

D_1 et D_2 sont obtenues à la température ambiante de la salle. Le densimètre étant calibré à 20°C, les valeurs mesurées doivent être corrigées comme suit.

Soit :

T_1 : la température de la salle lors de la première lecture et T_2 celle de la salle à la deuxième lecture ;

0,36 : variation de la densité par unité de degré supérieur ou inférieur à 20°C. Ainsi on a :

$$D_{1c} = (T_1 - 20) \times 0,36 + D_1 \text{ et } D_{2c} = (T_2 - 20) \times 0,36 + D_2 \quad (7).$$

4.2.3.3. Indicateur d'évaluation d'impacts environnementaux

L'évaluation de risques liés à l'utilisation des pesticides en production maraîchère a été faite à l'aide de l'indicateur EPRIP (Environmental Potential Risk Indicator for Pesticides) développé par Trévisan *et al.* (2009). Il est basé sur le calcul de ratio d'exposition à la toxicité (ETR :

Exposure Toxicity Ratio) et de concentrations environnementales prédites (PEC : Predicted Environmental Concentration) estimés à l'échelle locale (champ et environnant) pour chaque compartiment de l'environnement. Les valeurs de ETR évaluées à partir des paramètres toxicologiques à court et long termes sont traduites en points de risques (RP : Risk Point) sur une échelle de 1 à 5 (Tableau II). Il reflète donc un scénario du pire cas et admet que les organismes sont soumis à l'exposition maximale dans le temps et dans l'espace. Les impacts environnementaux prenant en compte l'eau de surface, l'eau souterraine, le sol et l'air. Les effets éco-toxicologiques sur les organismes aquatiques (algues, poissons et crustacées) et sur les organismes terrestres (ver de terre) sont pris en compte. Par contre, les effets éco-toxicologiques sur les organismes non-cibles des eaux souterraines et l'air ne sont pas pris en compte. L'approche consiste à considérer que l'homme et les rats sont respectivement les organismes non-cibles des eaux souterraines et l'air. Le score global de risque environnemental est obtenu en multipliant les RP de chaque compartiment entre eux (De Coursey, 1992). Les risques potentiels sont exprimés en différents niveaux de classes de risque environnemental de 1 à 825 (Tableau III) sur la base de jugement d'expert (Padovani *et al.*, 2004).

Nous avons choisi de travailler avec EPRIP car il intègre les paramètres les plus importants. Il prend en compte à la fois les propriétés des matières actives, les sols et les conditions climatiques, la dose d'application, la fréquence d'application, le nombre d'application et la dérive de pulvérisation. L'indicateur couvre également les risques à effets directs et indirects et les effets à court et long termes.

L'utilisation de modèles n'a pas été retenue car ils ont été jugés trop complexes à mettre en œuvre à cause de la non-disponibilité des données et compte tenu d'une connaissance limitée sur certaines données d'entrée. La recherche de ces données pourrait demander énormément de temps de travail. Feola *et al.* (2006), affirment du reste que l'indicateur EPRIP s'avère être le mieux adapté au contexte des pays en développement limités par la disponibilité des données. Les caractéristiques des champs (pente), la fréquence d'application des pesticides, les types de cultures et les matières actives des pesticides recueillis lors de l'enquête de caractérisation des exploitations des producteurs ont servi de base de données à l'indicateur. De plus, les données météorologiques (Tableau IV) de l'aéroport de Bobo-Dioulasso ont été également utilisées. Les taux de carbone organique, la texture des sols de même que la densité apparente déterminés avaient pour finalité d'être utilisés pour la simulation de EPRIP (Annexe II).

Tableau II : Valeurs des points de risque

Echelle de ETR	<0,01	0,01-0,1	0,1-1,0	1,0-10,0	>10,0
Point de risque	1	2	3	4	5

Source : Trévisan *et al.* (2009)

Tableau III : Score de EPRIP

Score de EPRIP	Jugement EPRIP	Valeur de jugement de EPRIP
1	Aucun	0
2-16	Négligeable	1
17-81	Faible	2
82-256	Présent	3
257-400	Elevé	4
>400	Très élevé	5

Source : Trévisan *et al.* (2009)

Tableau IV : Données climatiques de la ville de Bobo-Dioulasso en 2016

Variables	Précipitation annuelle moyenne (mm)	Maximale de pluie journalière (mm)	Température moyenne annuelle (°C)	Taux de recharge annuel (m/an)
Valeur	1200,6	88,1	26,3	0,75

Source : Données climatiques de la station météorologique de l'aéroport de Bobo-Dioulasso 2016.

Chapitre V : Résultats

5.1. Caractéristiques des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona

5.1.1. Caractéristiques sociodémographiques

Les enquêtes de caractérisation des sites maraîchers de Dogona et de Sakaby indiquent que l'âge des exploitants varie de 23 à 62 ans et la moyenne d'âge est de 41 ans. L'analyse de la situation socioprofessionnelle des maraîchers indique que l'expérience moyenne des producteurs en culture maraîchère est de 25 ans.

Pour 83 % des producteurs des sites de Sakaby et de Dogona, la culture maraîchère est leur activité principale. Le reste des 17 % exerce préférentiellement l'activité agricole (figure 5).

Le niveau d'instruction des producteurs maraîchers est très hétérogène (Figure 6). La majorité des producteurs (55%) ont le niveau primaire tandis qu'environ un quart (24%) d'entre eux ne sont pas instruits. Respectivement 11% et 10% ont le niveau secondaire et coranique.

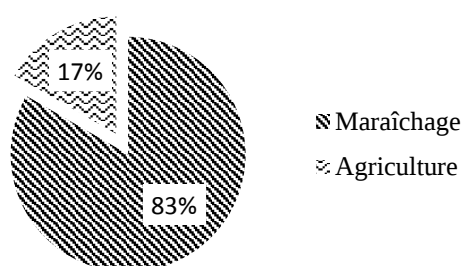


Figure 5 : Activité principale des maraîchers

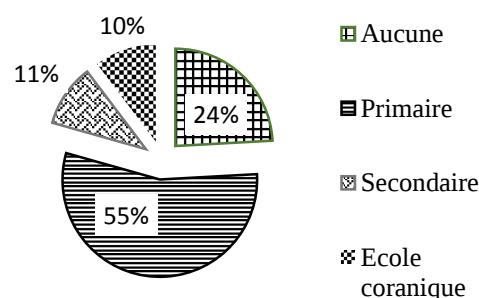


Figure 6 : Niveau d'instruction

Les modes d'acquisition des terres exploitées sur les périmètres maraîchers de Sakaby et de Dogona sont illustrés par la figure 7. On constate que l'héritage est le mode prédominant pour l'acquisition des terres. Cette voie d'accès concerne 90% des producteurs. Accessoirement, certains producteurs ont acquis leurs parcelles par achat (4%), par location (3%) et par prêt et/ou cession temporaire (3%).

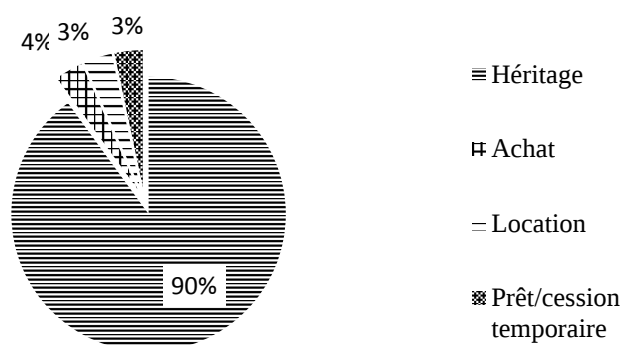


Figure 7 : Mode d'acquisition des parcelles d'exploitation maraîchère à Sakaby et Dogona

La distribution des superficies des exploitations est illustrée par la figure 8. Elles varient de 204 m² à 579 m² pour le premier quartile. Pour le deuxième quartile des producteurs, les superficies sont comprises entre 579 à 3631 m² et sont les propriétés de la moitié des producteurs. Alors que la superficie médiane est de 1148 m². Dans le troisième quartile, les exploitants disposent de 3631 m² tandis que la borne supérieure du dernier quartile est de 5204 m². En plus, il existe des superficies exceptionnellement élevées pour quelques 4 producteurs qui exploitent 6 619 à 18 970 m².

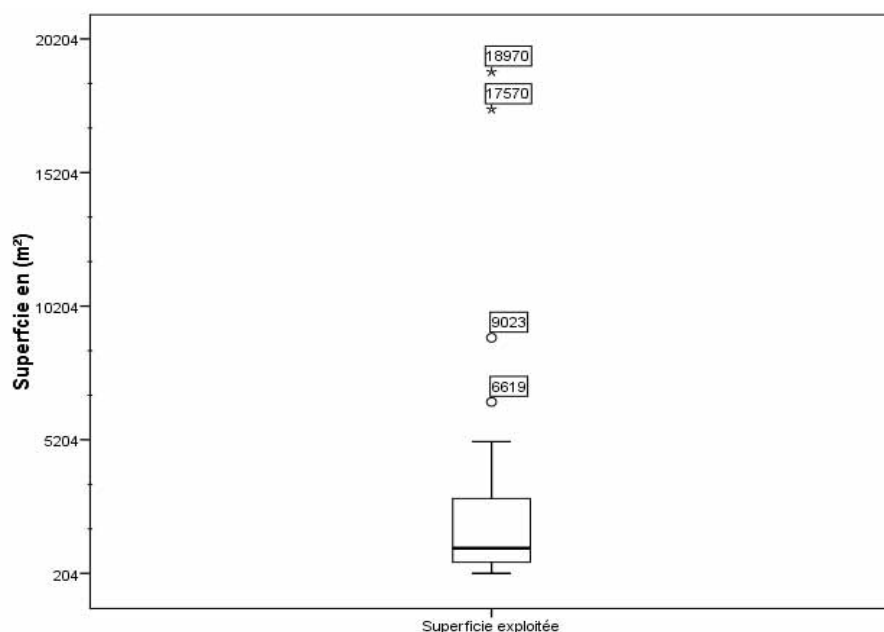


Figure 8 : Superficie des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona

5.1.2. Caractéristiques des pratiques culturelles

Les activités maraîchères à Sakaby et Dogona sont permanentes pour 70% des producteurs. Les 30% restants des producteurs pratiquent l'activité principalement pendant la saison sèche et une partie plus ou moins longue de la saison pluvieuse.

Pour les activités de production maraîchère, la source principale d'approvisionnement en eau d'irrigation est le cours d'eau du marigot Houét traversant les exploitations maraîchères. Par ailleurs, les résultats des enquêtes indiquent que 90% des maraîchers pratiquent l'irrigation par aspersion comme mode d'apport d'eau aux cultures contre 10% qui font l'irrigation gravitaire. La quasi-totalité des producteurs possède des arrosoirs (93,3%). En plus, une majorité d'entre eux (80%) disposent d'une motopompe et 63,3% possèdent un bassin de stockage d'eau d'irrigation.

Les cultures maraîchères sont très diversifiées sur les sites de Sakaby et de Dogona (figure 9). Les principales spéculations produites par une majorité de maraîchers sont la laitue (87%), la tomate (83%), le poivron (70%), le persil (67%), et le céleri (63%). Ensuite, le gombo, la menthe, l'oignon bulbe, le concombre et l'amarante sont produites par au moins un cinquième des maraîchers. Au moins 10% des maraîchers produisent le haricot vert, le chou, l'aubergine noire, l'oseille, l'aubergine locale, la courgette, le piment, les feuilles de niébé et l'épinard. Enfin, certaines spéculations comme les feuilles de patate, la carotte, le chou-fleur, la betterave, l'oignon feuille et le navet (3%) sont relativement plus rares, elles sont présentes dans moins de 10% des exploitations maraîchères.

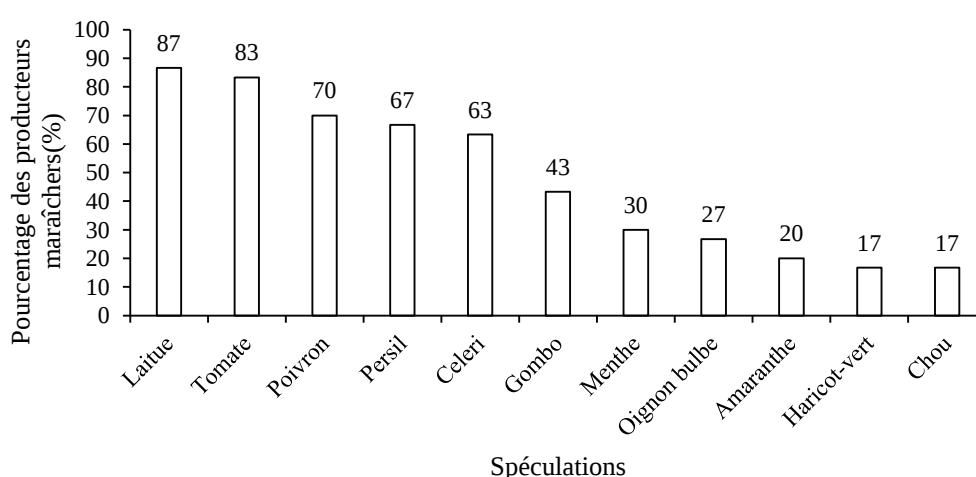


Figure 9 : Principales spéculations produites à Sakaby et Dogona

La diversification des cultures se fait par voie de l'assolement, de la rotation culturale (93%) et de l'association culturale (93%).

Pour les producteurs maraîchers, la rotation culturale tient à plusieurs raisons. Les principales raisons qui sont avancées par 100% des producteurs maraîchers correspondent au gain rapide de revenu et au manque d'espace. La période de production, la diversification des cultures, la lutte contre les ravageurs de culture ont été citées respectivement par 76%, 11% et 7% des producteurs maraîchers. Pour 31% des producteurs maraîchers, la pratique de la rotation est liée au respect de la période favorable de production de chaque spéculation. Pour éviter la baisse de rendements, les compétitions pour les nutriments dans la rhizosphère, 13% et 7% respectivement des producteurs pratiquent la rotation culturale (figure 10).

La pratique de l'association culturale est motivée par la lutte contre les ravageurs des cultures (100%) mais aussi par le fait qu'elle génère certaines productions destinées à la consommation familiale (100%). Diverses autres raisons telles le gain rapide de revenu (77%), la diversification de la production (40%), l'achat d'intrants agricoles (17%), le manque d'espace cultivable (3%) et les bénéfices agronomiques (3%) sont aussi avancées par des producteurs pour justifier l'association culturale (figure 11).

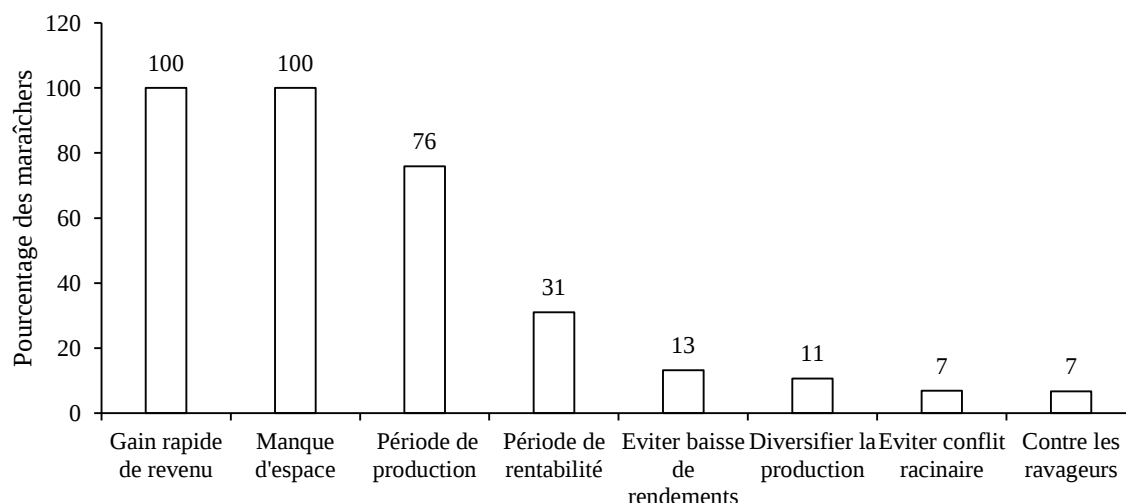


Figure 10 : Raisons de l'adoption de la rotation culturale

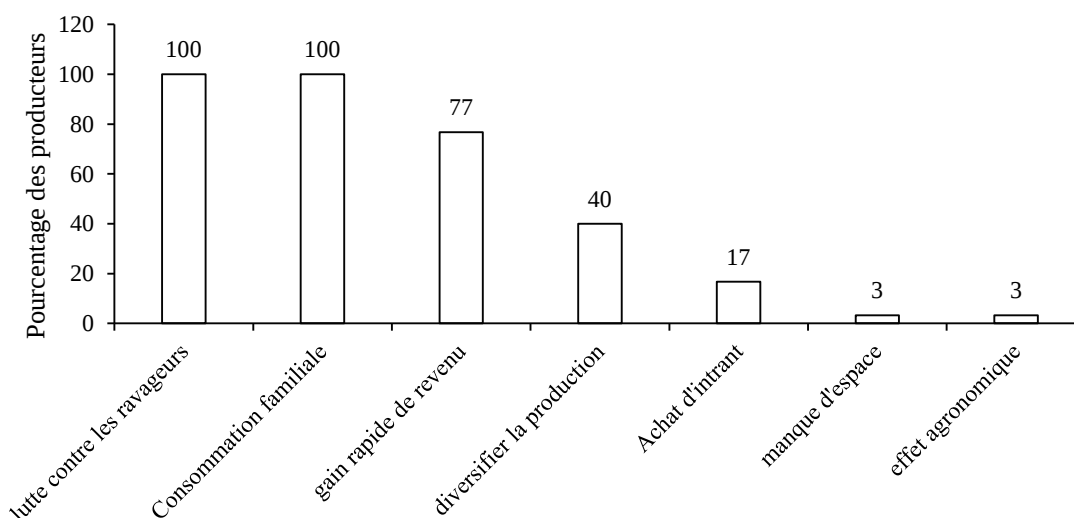


Figure 11 : Raisons de l'adoption de l'association culturale

5.1.3. Mode de fertilisation

Les producteurs maraîchers à Sakaby et Dogona fertilisent leurs exploitations à partir de la fumure organique et de la fumure minérale.

5.1.3.1. Fertilisation organique

Les résultats des enquêtes indiquent que tous les maraîchers combinent fumure organique et fumure minérale. Selon les producteurs, cette combinaison est motivée par l'efficacité de la fumure organo-minérale (100% des producteurs) et par la réduction des coûts de fertilisation (20% des producteurs).

Cependant, les producteurs ont diverses motivations qui poussent à l'utilisation de la fumure organique (figure 12). La principale est l'amélioration de la fertilité des sols (70% des producteurs). La fumure organique sert à restaurer le sol selon 30% des producteurs. En plus, elle permet de réduire le coût des engrais (23%) mais a aussi un effet durable sur le sol (23%). Enfin, une partie des producteurs (10%) pense que la fumure organique est indispensable pour la production maraîchère.

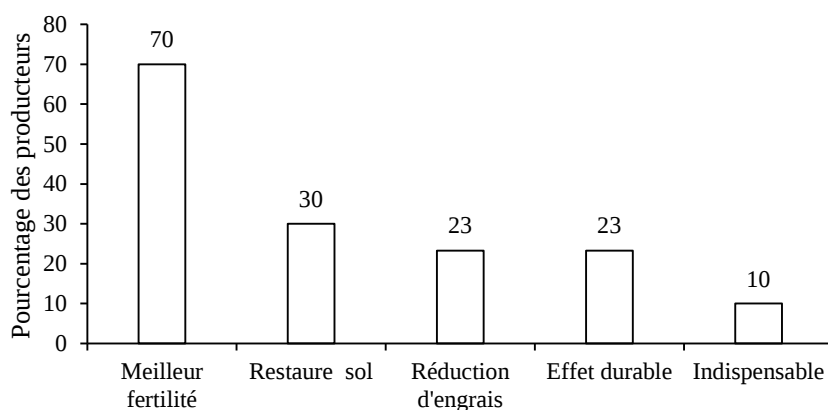


Figure 12 : Raisons d'usage de la fumure organique

Pour les motivations précédemment évoquées, les exploitations maraîchères de Sakaby et de Dogona emploient une diversité de fumure organique (figure 13). La fumure bovine (87%), les déchets urbains (83%), les fientes de volaille (70%) et la fumure porcine (63%) sont les plus fréquentes au sein des exploitations. Cependant, on y trouve aussi la fumure ovine et caprine (43%), le compost (7%), les sous-produits industriels (3%) et les déchets de WC (3%).

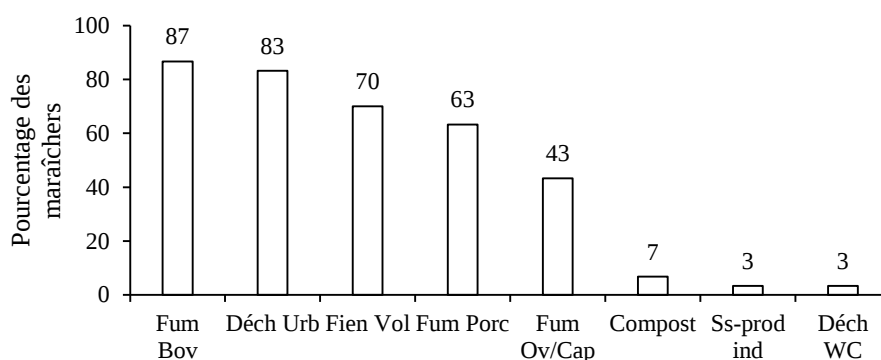


Figure 13 : Différents types de fumures organiques à Sakaby et Dogona

Par ailleurs, il faut noter que 37% des producteurs enquêtés à Sakaby et à Dogona seraient prêts à utiliser uniquement la fumure organique dans une perspective de production agroécologique.

5.1.3.2. Fertilisation minérale

La croissance rapide des cultures est la principale motivation de l'utilisation des engrais chimiques, selon 80% des producteurs maraîchers (figure 14). L'efficacité de la fumure minérale est citée par une majorité des maraîchers (53%). Bien qu'elles soient moins citées, la disponibilité des engrais chimiques ainsi que l'augmentation des rendements par l'effet des

engrais chimiques comptent respectivement pour 20% et 10% des producteurs de Sakaby et de Dogona.

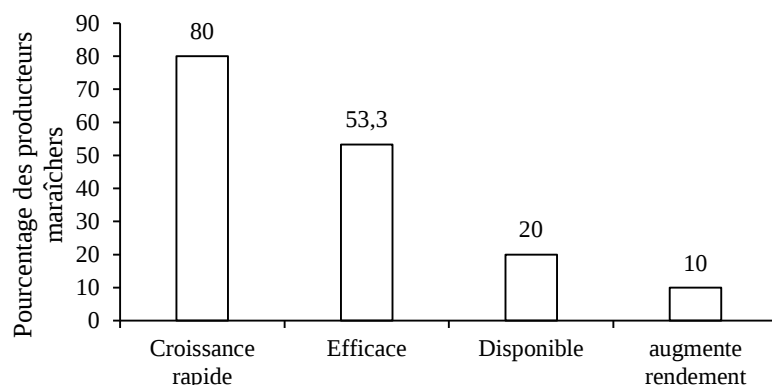


Figure 14 : Raisons d'usage d'engrais chimique

5.1.3.3. Dose moyenne de fertilisant

Les différentes spéculations bénéficient de fumures minérales et de fumures organiques dont les quantités apportées par culture ont été estimées sur une période de production annuelle.

Les résultats de l'enquête indiquent que, la menthe reçoit la quantité la plus élevée (9362 kg par hectare) de fumure minérale contrairement à l'amarante (245 kg par hectare) (figure 15). Le persil avec en moyenne 5711 kg/ha seconde la menthe.

Concernant la fumure organique, on note une quantité moyenne de 266 656kg par hectare de matière apportée à l'oignon bulbe contre seulement 4 390 kg/ha sur le gombo (figure16). Les spéculations comme le chou et le poivron reçoivent moins de la moitié de la fumure appliquée à l'oignon, soit environ 114 000 kg. Les doses baissent encore de moitié au moins sur la tomate, la laitue, le gombo, le haricot vert, le persil, le céleri, la menthe et l'amarante.

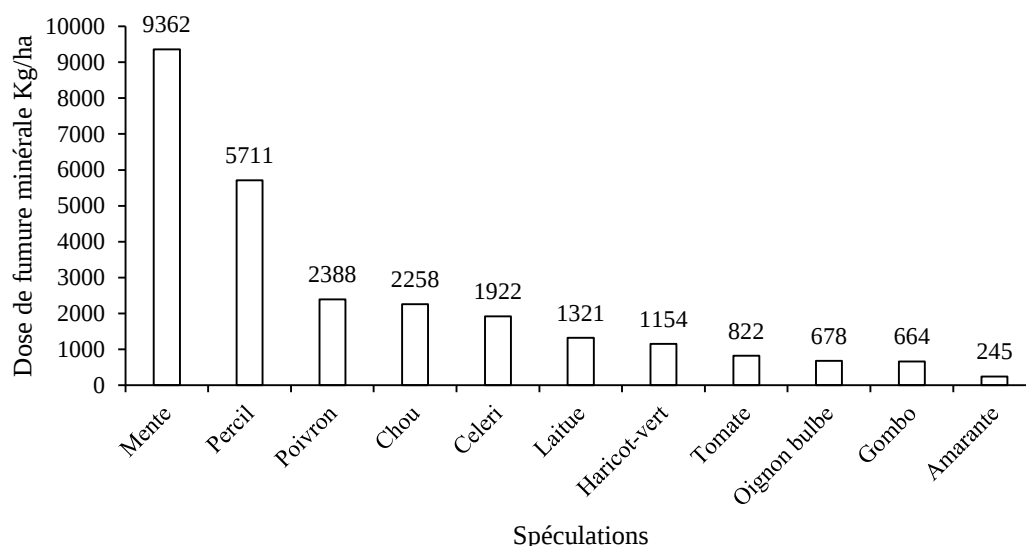


Figure 15 : Dose moyenne de fumure minérale par spéculation appliquée à Sakaby et Dogona

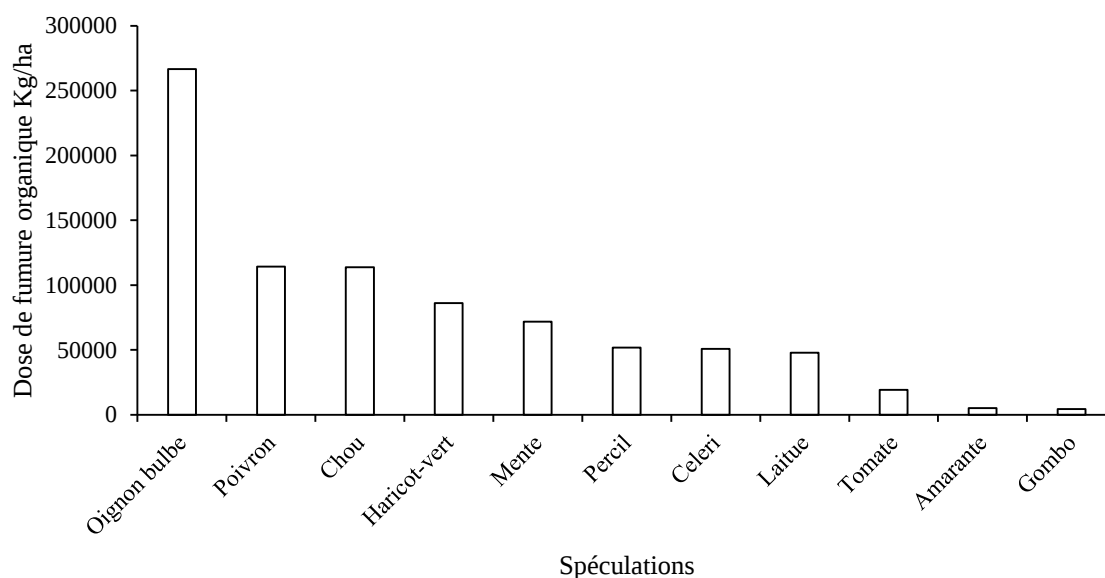


Figure 16 : Dose moyenne de fumure organique par spéculation appliquée à Sakaby et Dogona

5.1.4. Gestion des ravageurs

Le contrôle des ravageurs dans les exploitations maraîchères de Sakaby et de Dogona est basé principalement sur la lutte chimique. En effet, tous les maraîchers de ces sites utilisent des pesticides chimiques dans la lutte contre les ravageurs de cultures, mais aussi contre les mauvaises herbes. La lutte biologique à base de bio-pesticides est quasi inexistante sur ces sites maraichers. Seulement 3% des producteurs affirment faire usage des pesticides biologiques pour lutter contre les ravageurs de culture et autres organismes nuisibles des cultures. Plusieurs

motifs ont été émis par les producteurs quant à la non-utilisation des pesticides biologiques. C'est notamment le manque d'information (48%), l'indisponibilité des produits biologiques (40%), le manque de temps à consacrer à la préparation des extraits biologiques (17%) et la faible efficacité (3%) des produits biologiques (figure 17).

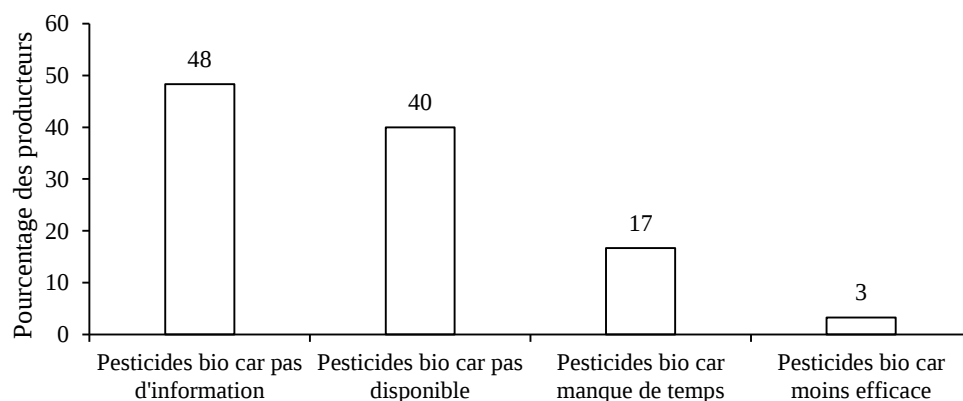


Figure 17 : Raisons de la non-utilisation des pesticides botaniques

5.1.5. Pesticides chimiques utilisés par les producteurs

L'enquête a permis de dénombrer 27 noms commerciaux de pesticides chimiques de synthèse sur les sites maraîchers (figure 18). Parmi ces 27 pesticides, 3 noms commerciaux n'ont pu être caractérisés. Il s'agissait de gramisol, d'ecomat et de valdiper avec une fréquence d'utilisation respective de 3%, 10% et 3% par les producteurs. Le lambda power (60%) et le pacha (53%) sont les pesticides les plus employés dans les exploitations maraîchères de Sakaby et de Dogona.

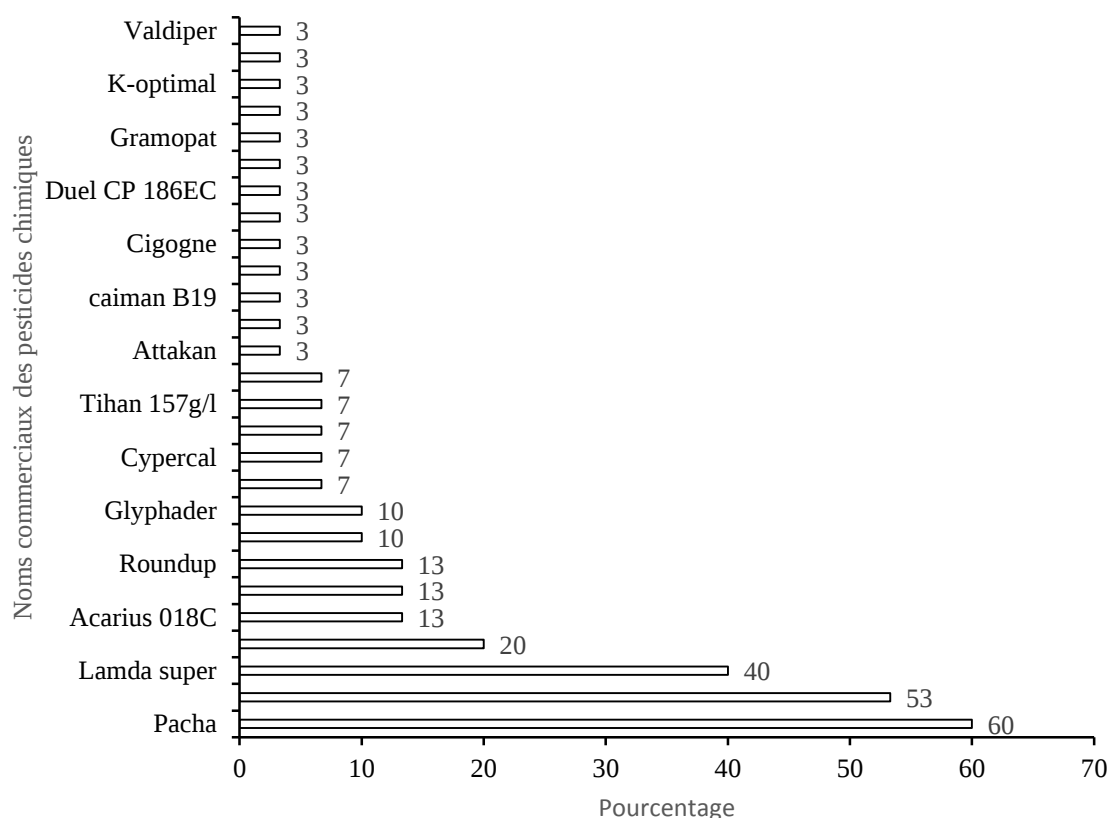


Figure 18 : Noms commerciaux des pesticides recensés à Sakaby et Dogona en 2016

5.1.5.1. Principales matières actives et familles chimiques des pesticides utilisés à Sakaby et Dogona

Sur la base des noms commerciaux des pesticides inventoriés (figure 18), les différentes matières actives ont été identifiées (figure 19) ainsi que les familles des pesticides (figure 20).

L'acétamipride (38%), le cyperméthrine (31%) et le lambda-cyhalothrine (31%) sont les matières actives de pesticides fréquemment rencontrées dans les exploitations. En outre, d'autres matières actives existent, mais à des fréquences relativement plus faibles. Ce sont l'abamectine, l'emamectine-benzoate, le profenophos et le glyphosate avec les mêmes fréquences de présence sur le site, soit 13%. Quant à l'imidaclopride, bacillus thuringiensis, deltaméthrine, chlorpyrifos, carbofuran, paraquat chloride, methomyl, flubendiamide et spirotetramide, ils sont encore plus rares (6%).

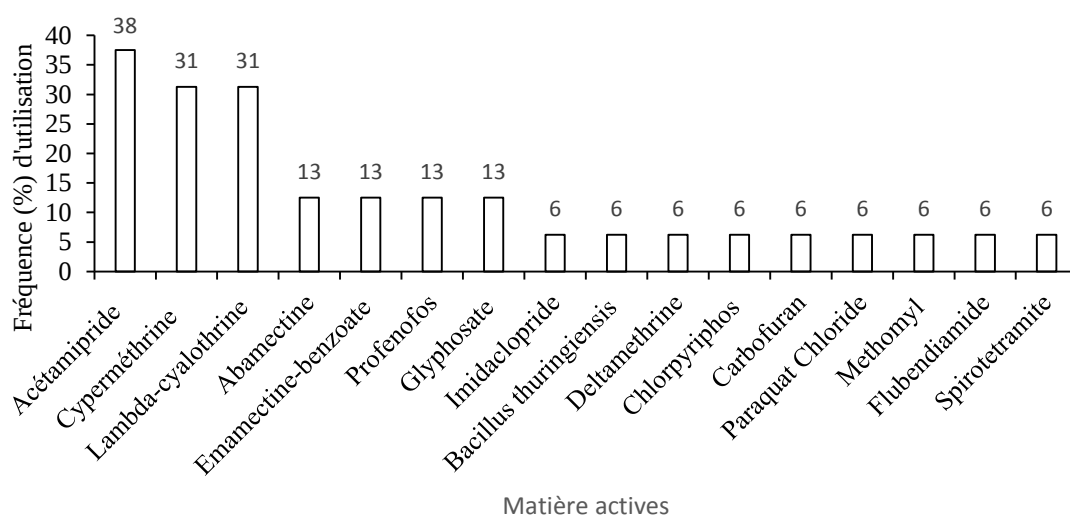


Figure 19 : Différentes matières actives rencontrées à Sakaby et Dogona

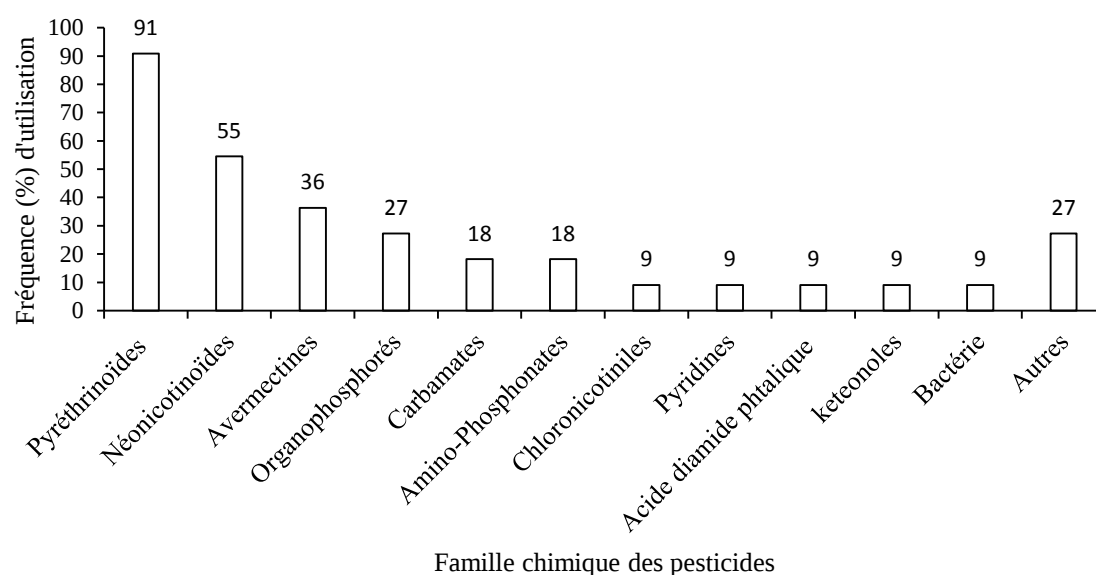


Figure 20 : Familles chimiques des pesticides utilisés à Sakaby et Dogona

Comme l'indique la figure 20, les maraichers utilisent une gamme variée de pesticides. Les plus fréquentes sont de la famille des pyréthrinoides (91%) et des néonicotinoides (55%). En plus, on retrouve la famille des avermectines (36%), des organophosphorés (27%) ainsi que des carbamates et des amino-phosphonates (18%). Les autres familles chimiques comme les chloronicotiniles, les pyridines, les acides diamides phtaliques, les keteonoles et les bactéries sont nettement moins fréquentes (9%). Il faut rappeler que 03 noms commerciaux n'avaient pu être caractérisés. Ils figurent dans des familles « autres » avec une fréquence de 27%.

5.1.5.2. Type de pesticides

Les types de pesticides recensés sur les sites maraichers regroupent des insecticides, des nématicides, des acaricides et des herbicides (figure 21). Les insecticides (76%) sont plus utilisés que les herbicides (10%), les acaricides (10%) et les nématicides (4%).

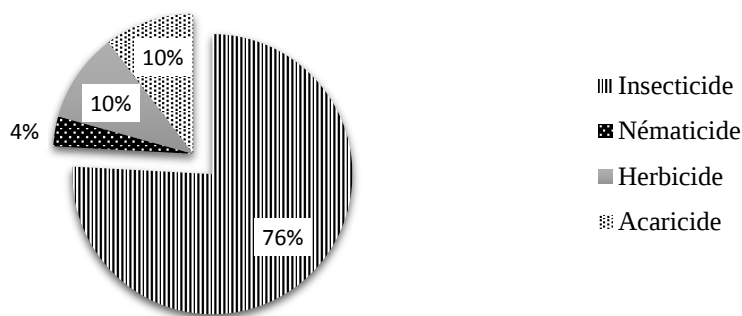


Figure 21 : Importance relative des types de pesticides utilisés en maraîchage à Sakaby et Dogona

5.1.5.3. Pesticides homologués par le Comité Sahélien des Pesticides (CSP)

Les producteurs des sites maraichers de Sakaby et de Dogona, utilisent trois groupes de pesticides en cultures maraîchères. Le groupe de pesticides homologués par le CSP pour les cultures maraîchères représente moins de la moitié (45%) de l'ensemble. Ensuite, il y a les pesticides destinés à la culture du coton et les pesticides non homologués en culture maraîchère. Ces deux groupes avaient les mêmes fréquences d'usage soit 22%. Enfin, le dernier groupe (autre) des pesticides qui n'ont pu être caractérisés représente 11% (figure 20).

Sur la base du classement par l'OMS des pesticides en fonction de leur toxicité, l'on peut répertorier trois classes de pesticides chez les maraîchers : La classe Ib (très dangereux), la classe II (modérément dangereux) et la classe III (peu dangereux). On note que les pesticides de la classe II sont relativement plus fréquents que les autres.

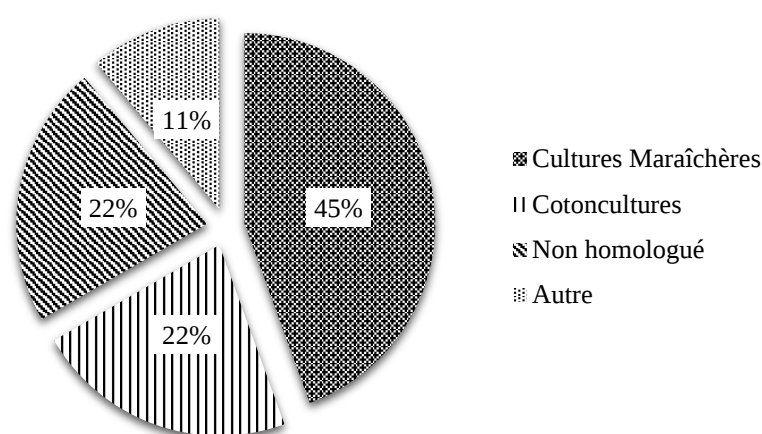


Figure 22 : Fréquence des différents pesticides par domaine d'utilisation

5.1.6. Perception de l'impact des pesticides sur l'environnement par les producteurs

Les résultats de l'enquête indiquent diverses perceptions de l'impact des pesticides sur le sol et l'eau (figure 23). Une majorité des producteurs (65%) affirment que les pesticides sont sans effet sur le sol. Par contre, 60% des enquêtés pensent que les pesticides ont des effets bénéfiques sur le sol et près du tiers des enquêtés (31%) pensent qu'ils induisent des effets néfastes sur le sol (figure 23).

La figure 23 indique que 64% des producteurs ne perçoivent pas d'effet des pesticides sur l'eau. Par contre 23% des producteurs maraîchers déclarent que les pesticides sont néfastes pour l'eau. Cependant, s'agissant de leurs effets bénéfiques sur l'eau, aucun producteur ne s'est prononcé.

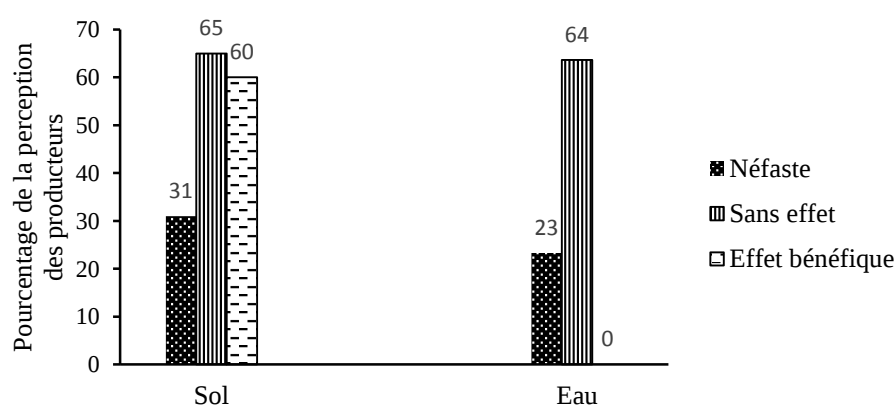
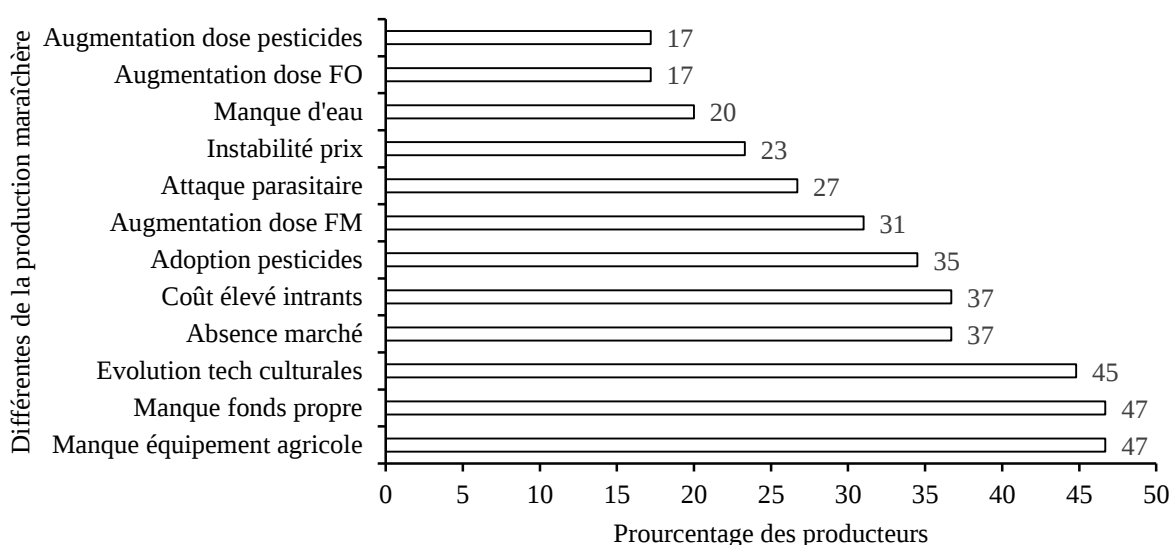


Figure 23 : Perception des producteurs maraîchers de Sakaby et Dogona de l'impact des pesticides sur le sol et l'eau

5.1.7. Contraintes liées à la production maraîchère à Sakaby et Dogona

A Sakaby et Dogona, les producteurs maraîchers enquêtés affirment ne pas toujours pratiquer l'activité maraîchère de la même façon. En effet, 93% des producteurs déclarent avoir optés pour de nouvelles pratiques culturales. Ces changements sont liés à diverses contraintes citées par les maraichers (Figure 24. Les principales contraintes auxquelles les producteurs font face sont entre autres, le manque d'équipements agricoles, le manque de fonds propre et l'évolution des techniques culturales.



FO : Fumure Organique ; FM : Fumure Minérale

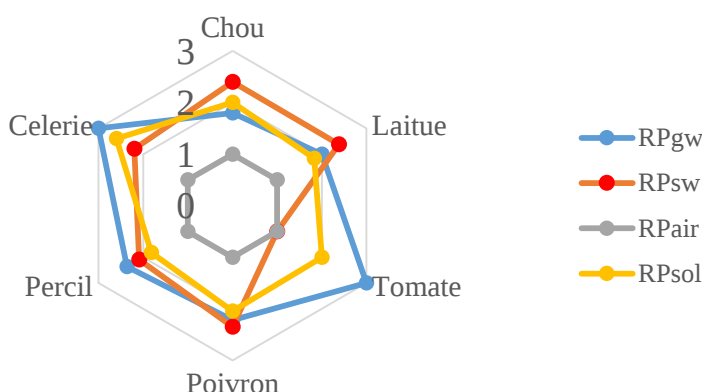
Figure 24 : Contraintes relatives à la production maraîchère chez les producteurs de Sakaby et Dogona

5.2. Risques d'impact environnemental des pesticides utilisés à Sakaby et Dogona

L'évaluation des risques liés aux pratiques maraîchères par l'indicateur EPRIP (Environmental Potential Risk of Pesticides) a fourni différents résultats en fonction de différents scénarii. La définition d'un scénario s'est fait sur la base du taux de carbone organique de la parcelle, de la texture du sol, du type de culture, de la distance de la parcelle au cours d'eau, du périmètre de la parcelle, de la surface de la parcelle, du type de plan d'eau et du climat. Les paramètres non-variant d'un scénario sont le type de plan d'eau et le type de climat. L'implémentation de ces différents paramètres a permis à l'aide de l'indicateur EPRIP de faire sortir les RPs (Points de Risque), les PECs (Concentrations Environnementales Prédites) et les scores de risques pour l'environnement.

5.2.1. Points de Risques par principales spéculations

La figure 25 donne les points de risques de chaque compartiment de l'environnement en fonction des principales spéculations. La tomate et le céleri (3) présentent les points de risques les plus élevés sur l'eau souterraine. Au niveau de l'eau de surface, ce sont la laitue, le chou, le persil et le poivron (2) qui montrent un risque plus ou moins important. Sur le sol, seul le céleri (3) exprime un risque de toxicité assez marquant. Quant au compartiment air, le risque de toxicité est faible.



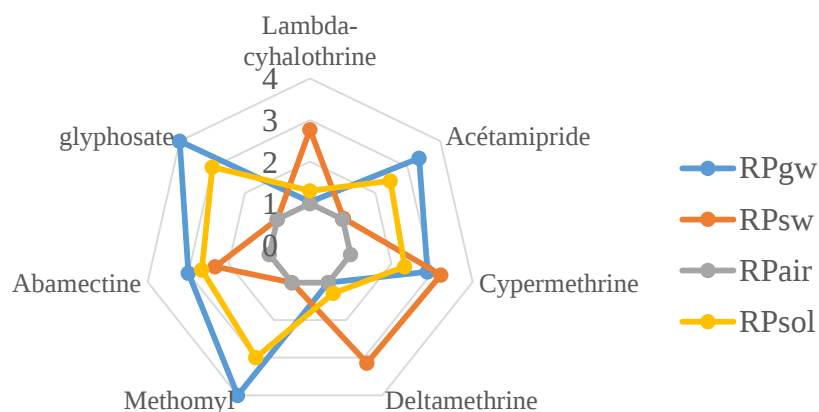
RPgw : Point de Risque eau souterraine, **RPsw** : Point de Risque eau de surface,

RPair : Point de Risque de l'air et **RPsol** : Point de Risque du sol

Figure 25 : Points moyens de risque par principale spéculation

5.2.2. Points de risques moyens par matière active

Les résultats de l'indicateur des points de risques par matière active, indiquent une toxicité beaucoup plus importante pour les organismes vivants d'eau souterraine respectivement pour le methomyl (4), le glyphosate (4), l'acétamipride (3) et le cyperméthrine (3). A l'opposé, c'est-à-dire sur l'eau de surface, ce sont le lambda-cyhalothrine, le deltaméthrine et le cyperméthrine (3) qui sont les matières actives ayant un point de risque notable. Au niveau du sol, l'abamectine, le methomyl et le glyphosate (3) cumulent des points de risques assez élevés. L'ensemble des matières actives ne présente qu'un faible risque pour l'air (figure 26).



RPgw : Point de Risque eau souterraine, **RPsw** : Point de Risque eau de surface,

RPair : Point de Risque de l'air et **RPsol** : Point de Risque du sol.

Figure 26 : Points de risques moyens par matière active

5.2.3. Valeurs moyennes de concentration environnementale prédite par matière active

L'analyse des résultats des différents PECs (PECgw, PECsoil, PECdrift, PECair et PECsw), fait ressortir des valeurs de PEC élevées au niveau du sol suivi de l'eau souterraine (Tableau V). L'acétamipride fait apparaître des valeurs de concentration assez importantes par rapport à celles des autres matières actives et ce, quels que soient la culture et le scénario sur l'eau souterraine. (Tableau V). Par contre, le deltaméthrine présente des valeurs de concentration très faibles par rapport au seuil (0,05 µg/l) admis pour l'eau souterraine.

Tableau V : PECs de différentes matières actives par principales spéculations

Spéculations	Matières actives	PECgw (µg/l)	PECsoil (mg/kg)	PECdrift (mg/l)	PECair (mg/l)	PECsw (mg/l)
Laitue	Acetamipride	2,29E-01	2,25E+00	5,07E-05	1,35E-13	2,35E-05
	Lambda-cyhalothrine	1,02E-04	2,02E+01	3,24E-04	1,01E-09	1,06E-05
	Deltamethrine	2,08E-31	8,02E+00	4,67E-04	2,55E-10	8,93E-07
	Abamectine	4,83E-01	3,85E+01	3,90E-05	2,15E-07	1,41E-34
	Cypermethrine	7,37E-02	2,32E+01	8,46E-05	2,91E-09	2,02E-07
Chou	Lambda-cyhalothrine	2,24E-05	2,00E+01	4,46E-04	9,95E-10	1,54E-05
	Cypermethrine	5,54E-03	1,92E+00	8,79E-06	5,13E-11	9,72E-20
	Methomyl	1,11E-01	5,58E+00	8,44E-06	5,18E-18	5,55E-22
Tomate	Acetamipride	9,74E-02	3,71E+00	4,76E-05	5,64E-14	4,18E-05
	Lambda-cyhalothrine	1,16E-05	1,05E+01	1,84E-04	5,00E-10	3,96E-06
	Deltamethrine	1,46E-41	5,82E+00	6,38E-05	1,13E-10	2,60E-11
	Abamectine	4,53E-03	5,75E-01	3,81E-06	2,95E-09	1,23E-08
	Glyphosate	6,56E-01	7,07E+01	6,71E-03	6,26E-13	5,74E-04
Celerie	Abamectine	6,02E-02	1,62E+00	4,85E-06	9,07E-09	5,96E-36
	Lambda-cyhalothrine	1,85E-06	3,26E+01	1,50E-09	1,35E-09	9,62E-06
	Cypermethrine	5,86E-02	3,01E+01	4,73E-05	3,88E-09	2,66E-22
	Acetamipride	4,28E-01	3,98E+00	5,02E-04	2,09E-13	4,56E-04
	Lambda cyhalothrine	1,14E-05	4,64E+00	2,16E-04	2,24E-10	3,46E-07
Percil	Acetamipride	9,09E-01	8,21E-01	1,39E-04	4,92E-14	3,26E-05
	Cypermethrine	1,33E-02	3,48E+00	3,22E-05	4,49E-10	3,08E-23
	Acetamipride	1,72E-01	1,56E+00	6,68E-05	8,44E-14	3,54E-05
Poivron	Lambda-cyhalothrine	8,43E-06	9,17E+00	2,03E-04	2,37E-04	4,76E-06
	Deltamethrine	7,90E-53	3,47E+01	5,04E-04	5,26E-10	2,55E-10
	Abamectine	3,21E-01	2,63E+01	3,45E-05	1,44E-07	1,10E-11
	Cypermethrine	1,24E-01	4,53E+01	3,58E-04	5,50E-09	7,95E-06

5.2.4. Scores globaux moyens de EPRIP par principale spéculation

Les scores globaux moyens par spéculation, révèlent que le céleri (41) possède un score plus important suivi du poivron (34). Mais il existe une dispersion des valeurs des scores autour de la moyenne. Ainsi le poivron affiche des valeurs de scores moyens beaucoup plus dispersées autour de la moyenne (figure 27), tandis que le céleri présente des valeurs moyennes moins dispersées.

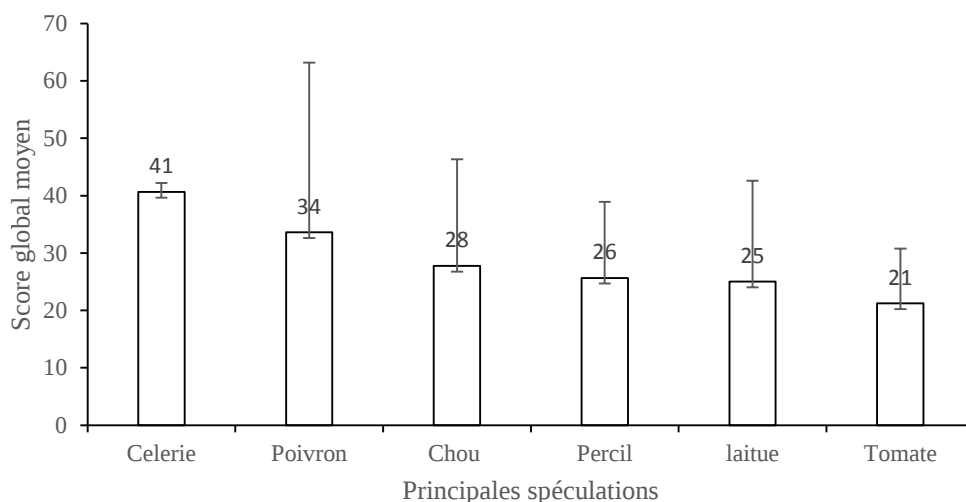


Figure 27: Scores globaux moyens par principale spéculation.

5.2.5. Scores globaux moyens de EPRIP par matière active

L'analyse des valeurs de score moyen par matière active indique que l'abamectine (69), le cyperméthrine (65) et le méthomyl (52) sont les matières actives avec des scores assez élevés. A l'opposé, l'acétamipride (33), le deltaméthrine (20) et le lambda-cyhalothrine (17) ont un score beaucoup plus bas (figure 28). Ces différentes valeurs moyennes se situent dans l'intervalle de 17-81 (Tableau III) donc un risque faible pour l'environnement. Mais pris séparément, les sorties de EPRIP révèlent une présence de risque pour l'environnement lié à l'usage de l'acétamipride, le cyperméthrine et l'abamectine.

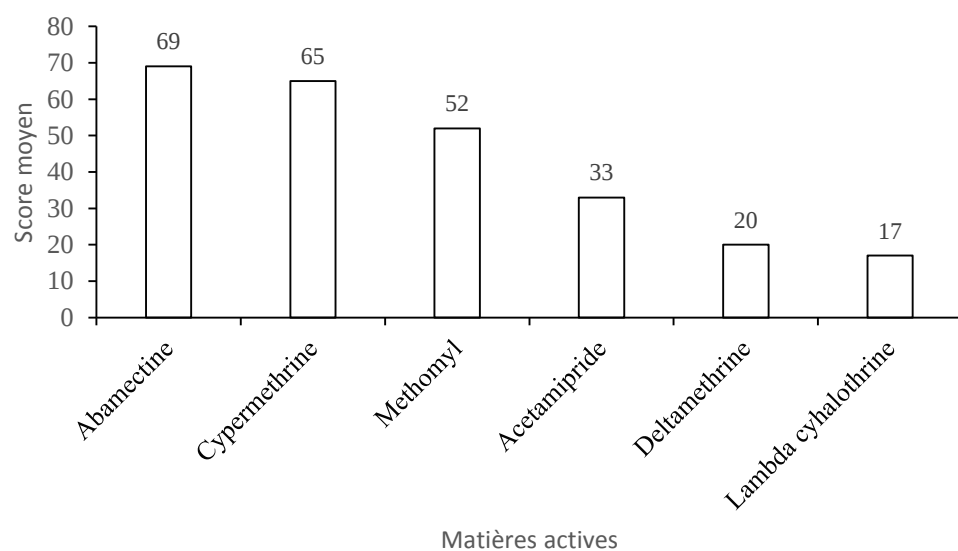


Figure 28 : Scores moyens de EPRIP par matière active

Chapitre VI : Discussions

6.1. Caractéristiques des exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona

Les producteurs maraîchers à Dogona et à Sakaby ont une moyenne d'âge de 41 ans et sont tous des hommes. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Naré *et al.*, (2014) qui avaient obtenu une moyenne d'âge de 43, 36 et de 39 ans respectivement sur les sites maraîchers de Ouagadougou, Ouahigouya et Bobo-Dioulasso.

L'expérience en production maraîchère à Dogona et à Sakaby est de 25 ans. Elle est donc supérieure à la moyenne nationale qui est moins de 6 ans (MAH, 2011) et également supérieure à celle des sites maraîchers du sud du Bénin où en moyenne l'expérience est de 14 ans (Ahouangninou, 2013). Ce constat s'expliquerait par le mode d'acquisition des parcelles. En effet, à Sakaby et Dogona, le mode d'acquisition des parcelles par héritage est dominant (90%). Par conséquent, l'on pourrait penser que les producteurs ont acquis leur expérience en exerçant l'activité maraîchère dès leur jeune âge auprès de leurs parents qui eux-mêmes menaient cette activité. De plus, ces sites sont majoritairement exploités par la population autochtone ce qui confirmerait le mode d'acquisition des terres par héritage.

La permanence des activités maraîchères (70% des producteurs) s'expliquerait par le fait que la source d'approvisionnement en eau d'irrigation est permanente. Cela est similaire aux données de la DGPSA (2006), qui estimait que dans la province du Houét l'activité maraîchère était permanente dans 84% des sites durant la campagne 2004/2005. En plus, l'activité maraîchère constitue la principale source de revenus monétaires pour la population exclue des emplois de la ville (Robineau, 2013).

Les producteurs maraîchers de Dogona et de Sakaby exploitent de petites superficies. Selon les résultats des enquêtes de caractérisation, la superficie moyenne est de 1 148 m² soit 0,1 ha. L'exploitation de faibles superficies serait liée à l'intensité des travaux en production maraîchère, d'autant plus que sur ces sites, le mode d'irrigation est par aspersion chez 93,3%. En plus, le caractère urbain serait également une raison d'exploitation de petites superficies. Ce qui est en conformité avec les travaux de Ahouangninou (2013) et de Ouattara (2016). Ces auteurs avaient montré respectivement que les producteurs maraîchers du sud du Bénin et des zones urbaines de la province du Houét (Burkina Faso), cultivaient sur de petites superficies.

La rotation et l'association culturale sont les principaux modes d'assolement définis par les producteurs sur ces petites superficies de terre destinées à la production de diverses

spéculations. La rotation culturale pratiquée par une majorité des maraîchers, s'expliquerait du fait qu'elle permet de produire rapidement des spéculations de court cycle et de profiter ainsi du marché mais également de limiter le stock de ravageurs. En effet, Conchita *et al.* (2010) avaient montré que les producteurs se concentraient sur des spéculations qui ont une faible durée de rotation telle la laitue ou soit sur celles qui donnent de meilleurs profits et sont faciles à écouler. On pourrait également penser qu'il en est de même pour l'association culturale où plusieurs spéculations sont mises ensemble. Mais dans ce cas d'assolement, l'on serait tenté de penser au profit que pourrait tirer une culture non-exigeante en intrants associée à celle plus consommatrice. D'autre part, selon Charbonnier *et al.* (2015), l'association et la rotation culturale peuvent être un mode de lutte contre les ravageurs de cultures. Des mêmes auteurs, la rotation et l'association des cultures sont des stratégies d'évitement ou d'échappement aux ravageurs consistant à éviter la concomitance entre la phase de contamination du bio agresseur et la période de sensibilité de la culture, ou à développer des cultures qui défavorisent l'attaque des bio agresseurs.

La fertilisation des cultures maraîchères à Dogona et à Sakaby se fait grâce aux fumures organiques et aux fumures minérales. Cependant, la fumure organique reste de loin celle qui serait privilégiée par les producteurs. Les études de Naré *et al.*, (2014) conduites dans les villes de Ouagadougou, de Ouahigouya et de Bobo-Dioulasso ont montré que dans ces trois villes, l'amendement organique était la plus utilisée par les maraîchers. Gountan (2013), Ouédraogo *et al.* (2001), soulignent que cette importance accordée à la fumure organique pourrait être liée à la facilité d'accès à la fumure, mais aussi à son caractère restaurateur de la structure des sols, du maintien et de l'augmentation de l'activité biologique des sols.

A l'image d'autres sites maraîchers d'Afrique et en particulier ceux du Burkina Faso, la limitation des dégâts engendrés par les ravageurs de cultures et le souci d'avoir des produits en quantité et en qualité pour le marché, les producteurs maraîchers de Dogona et de Sakaby utilisent pour la plupart des pesticides chimiques de synthèse. En revanche, il est à remarquer que les pesticides employés ne sont pas tous destinés aux cultures maraîchères. En effet, en plus des pesticides destinés aux cultures maraîchères, les producteurs utilisent des pesticides non homologués par le CSP notamment ceux des cultures cotonnières. Le même constat avait été fait par d'autres auteurs tels que Zongo (2009) dans des agrosystèmes maraîchers de la ville de Ouagadougou, Ahouangninou (2013) au sud du Bénin, Doumbia et Kwadjo (2009) dans la ville d'Abidjan et deux de ses banlieues (Dabou et Anyama). A côté de ces pesticides chimiques de synthèse existent des biopesticides et des extraits végétaux pour combattre les ennemis de

cultures. Toutefois leur emploi reste très faible sur les sites de Sakaby et Dogona. Un constat similaire avait été fait au Bénin par Adekambi et Adegbolas en 2008.

Les producteurs maraîchers des sites de l'étude, disposent d'une multitude de spécialités commerciales de pesticides pour le contrôle des ravageurs des cultures. La principale famille de spécialité des pesticides est la famille des pyréthriinoïdes. Le lambda-cyhalothrine, l'acétamipride et le cyperméthrine sont les matières actives les plus représentées. La dominance des pyréthriinoïdes dans ces exploitations paraît logique compte tenue de la forte présence des insecticides comme type de pesticide employés par les producteurs. En plus, comme l'indique la figure 21, des résultats de caractérisation des exploitations, 45% des pesticides sont homologués par le CSP. Or la plupart des pesticides homologués par le CSP regroupe les insecticides. Les travaux de Son *et al.* (2017), ont montré par ailleurs que les producteurs de tomate de sept communes du Burkina Faso (Faramana, Kouka, Dano, Dissin, Diébougou, Gaoua et Ouahigouya) en 2015 et 2016 utilisaient principalement les pyréthriinoïdes et les organophosphorés avec comme matières actives le lambda cyhalothrine, l'acétamipride et le cyperméthrine dans leurs stratégies de lutte. Cette présence des pyréthriinoïdes dans ces exploitations maraîchères, pourrait engendrer des risques de toxicité chroniques et aiguës sur les organismes non cibles. En effet, comme l'ont souligné Garric (1995), Agboyi *et al.* (2015), les pyréthriinoïdes et les composés organochlorés ont une toxicité aiguë et chronique très élevée. De plus, les organochlorés se caractérisent particulièrement par leur persistance et par leurs propriétés de bioaccumulation élevées. Malgré l'interdiction du paraquat par le CSP, son utilisation est toujours d'actualité dans les sites maraîchers. Aussi les producteurs font recours aux pesticides à toxicité très élevée (I_b) selon la classification de l'OMS. Ces pratiques pourraient avoir des impacts néfastes sur les organismes vivants animaux, sur l'homme et les végétaux.

Les avis des producteurs sur l'impact des traitements phytosanitaires sur l'environnement divergent. Une majorité de producteurs pensent ne pas percevoir d'effets néfastes des traitements phytosanitaires sur l'eau. Au contraire, ils pensent plutôt aux effets bénéfiques des pesticides sur le sol. Ce qui suscite donc des interrogations quant à leurs connaissances réelles des effets des pesticides sur l'environnement, sur les organismes vivants animaux et sur l'homme et ce malgré les inscriptions portées sur les emballages des produits. Dès lors, l'on penserait au manque d'instruction des producteurs maraîchers. En effet, Belhadi *et al.* (2016), avaient montré que les producteurs serristes de trois localités des Ziban-Est de l'Algérie, ignoraient la lecture du sens des pictogrammes. Pour ces mêmes auteurs, cette ignorance est

liée à l'absence d'instruction chez plus de la moitié des serristes et au faible niveau d'instruction chez 32,57%, et aussi à l'absence totale de formation, sur les pesticides, chez ces derniers.

A l'instar des producteurs d'autres sites nationaux ou étrangers, les maraîchers de Dogona et de Sakaby sont confrontés à d'énormes difficultés dans leurs activités de production. Les attaques des ravageurs, le manque d'intrants agricoles, le manque d'eau, le problème d'écoulement des produits maraîchers et le manque de mesures d'accompagnement sont les principales difficultés auxquelles sont confrontés ces producteurs. Les problèmes de gestion des ravageurs tels que la non-maîtrise du stock des ennemis de cultures peut être due au développement de formes de résistance aux pesticides par les ravageurs suite aux traitements répétés (Agboyi, 2015). En plus du manque de mesures d'accompagnement, le faible niveau de scolarisation dominée par le niveau primaire, aurait pour conséquence l'utilisation incontrôlée, inappropriée et anarchique des intrants agricoles tels que les pesticides non homologués par le CSP. Il résulterait de cette situation une probable contamination des différents compartiments de l'environnement, de la qualité sanitaire des produits et de l'intoxication humaine.

6.2. Risques d'impact environnemental des pesticides utilisés en production maraîchère à Sakaby et Dogona

Les valeurs de points de risques pour les différents compartiments de l'environnement indiquent une variabilité des valeurs en fonction de la culture et de la matière active. Les cultures de la tomate et du céleri ont présenté un niveau de toxicité élevé (3) pour les eaux souterraines. La culture du céleri a engendré une toxicité élevée pour le sol. L'eau de surface et l'air sont les deux compartiments où le risque de toxicité pour les organismes vivants est très faible. Le risque de toxicité élevé au niveau de l'eau souterraine et du sol par les cultures de la tomate et du céleri s'expliquerait d'une part par le facteur d'interception et d'autre part par la fraction perdue lors de la pulvérisation. Aussi les doses de pesticides ainsi que le nombre de traitements et leur fréquence sur ces cultures peuvent être à l'origine du fort taux de toxicité des résidus de pesticides dans ces compartiments. En effet, il a été montré qu'à la suite d'une application de molécules de pesticide, celles-ci sont susceptibles de quitter leur site d'application et sont alors considérées comme des micropolluants organiques à l'origine de la pollution de tous les compartiments environnementaux (Schrack *et al.*, 2009 ; Thiam et Sagna, 2009 ; Wade, 2003). En plus les résultats de caractérisation des exploitations maraîchères ont montré que la fertilisation organique était celle privilégiée par les producteurs. Ce qui pourrait

sans doute contribuer à la rétention des résidus de pesticide qui peuvent malheureusement être entraînés en profondeur par infiltration et par conséquent contaminer les eaux souterraines devenant ainsi toxiques pour les organismes vivants (Atteia, 2015 ; Mamy *et al.*, 2011). Le risque de toxicité élevé au niveau du sol serait lié à plusieurs facteurs dont la fréquence d'application, le nombre d'applications, la nature du sol et en particulier la teneur en matière organique du sol. Comme l'a souligné Atteia (2015), les pesticides organiques pour la plupart sont adsorbés par la matière organique naturelle du sol et vont donc rester proches de la surface du sol, zone dans laquelle la matière organique est localisée en majorité.

L'indicateur EPRIP a permis également de mettre en évidence la pollution des eaux souterraines, des eaux de surface et du sol par les résidus de pesticides tels que le méthomyl, le glyphosate, l'acétamipride, le lambda-cyhalothrine, le deltaméthrine et le cyperméthrine. La mise en évidence d'une présence de toxicité élevée dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface témoigne d'un coefficient d'adsorption des pesticides (methomyl et l'acétamipride) moins important. Ce qui serait préjudiciable aux organismes vivants non cibles de ces milieux tels les poissons, les algues et les crustacées. En faisant un rapprochement des valeurs écotoxicologiques de ces matières actives aux valeurs standards (EPA, 2009), l'on s'aperçoit que le cyperméthrine, le deltaméthrine et le méthomyl sont hautement toxiques pour les organismes aquatiques. En plus avec des coefficients d'adsorption plus importants pour le deltaméthrine (460 000 l/kg) et le cyperméthrine (76 344 l/kg), supérieurs à la valeur standard (500 l/kg), ces pesticides se classent dans le groupe des pesticides fortement retenus (Calvet *et al.*, 2005). De même, selon Calvet *et al.* (2005) ; Mamy *et al.* (2011), les pesticides fortement retenus sont susceptibles d'être mobilisés par transport particulaire lors des épisodes de ruissellement ou d'érosion, ou en présence d'écoulement préférentiels dans les profils de sol mais aussi être transférés vers les eaux de surfaces.

Le faible niveau de risque pour l'air, pourrait être lié aux propriétés physico-chimiques des matières actives et aux matériels utilisés pour les traitements. En effet, le méthomyl ($7,5 \times 10^{-9}$), l'acétamipride ($2,13 \times 10^{-11}$), le cyperméthrine ($3,7 \times 10^{-6}$), le deltaméthrine ($4,2 \times 10^{-6}$), le lambda-cyhalothrine ($7,38 \times 10^{-6}$) et le glyphosate ($6,6 \times 10^{-19}$) ont des coefficients de Henry très faibles. Selon Calvet *et al.* (2005), plus le coefficient de Henry d'un pesticide est faible, plus il présente moins de risque d'être transféré dans l'atmosphère.

Les résultats de l'indicateur EPRIP par PEC ont permis d'identifier les compartiments environnementaux présentant plus de risque de contamination par les résidus de pesticides. Il

s'agit principalement des compartiments sol et de l'eau souterraine. Dans le compartiment eau souterraine, certaines matières actives présentent des PECs en deçà de la limite légale (0,05 µg/l). C'est notamment l'acétamipride (0,23 µg/l) et l'abamectine (0,48 µg/l). Ces résultats sont en accord avec les analyses d'échantillons d'eaux souterraines des sites maraîchers dans les Niayes au Sénégal par Cissé *et al.*, (2001) et en France dans les eaux souterraines utilisées pour la consommation (Atteia, 2015). En effet, ces auteurs ont montré que les concentrations moyennes des résidus de pesticides observées dans ces nappes étaient supérieures à la valeur standard admise. Ces mêmes auteurs soulignent que les concentrations élevées de ces résidus s'expliqueraient par leur utilisation abusive et fréquente pour le traitement des cultures et également leur faible persistance dans les milieux témoigneraient de leur forte utilisation. Cet état de fait est similaire au cas de notre étude car sur ces mêmes sites, l'usage abusif et non contrôlé des pesticides par les producteurs avait été rapporté par Sakandé (2016) ; Ouattara (2016); Naré *et al.*, (2014) si bien que les différents compartiments environnementaux sont susceptibles d'être contaminés par les résidus de pesticides exposant ainsi les organismes vivants aux risques de toxicité des pesticides.

Les PECs élevés au niveau du compartiment sol trouveraient leurs origines dans divers facteurs. Les facteurs pouvant expliquer les fortes concentrations dans le sol sont le traitement répété avec des pesticides, l'intensité des activités maraîchères, la teneur des sols en matière organique et la texture. Hayo (1997), a montré que la mobilité de la matière est réduite par son adsorption sur les particules du sol. L'adsorption dépend elle-même des propriétés physico-chimiques du sol et des caractéristiques moléculaires de la molécule de la matière active. De plus, le temps de pulvérisation et le stade de développement de la plante ou de la structure végétative peuvent influencer l'ampleur de la pression de toxicité sur les écosystèmes (Räsänen *et al.*, 2015 ; Hayo, 1997). Cependant, une des contraintes à l'heure actuelle est la non-disponibilité de valeurs standards limites de concentration pour le compartiment environnemental sol (Ferragu *et al.*, 2010), on compare alors les teneurs dans les sols aux limites d'ingestion de chaque polluant (Atteia, 2015). Les concentrations de résidus de pesticides élevés au niveau du sol auraient pour probable conséquence, la diminution de l'activité biologique. En effet, pour Atteia (2015), les sols soumis à une agriculture intensive à fort intrant (pesticides, engrais) ont une vie biologique très faible, en raison de la perte de matière organique et de la toxicité de certains pesticides pour la faune du sol.

Les compartiments eau de surface et l'air sont caractérisés par de faibles PECs. Les concentrations faibles dans l'eau de surface seraient dues à la présence d'une faible pente dans

ces exploitations maraîchères (environ 1,5%) et l'éloignement de certaines parcelles (par exemple 389 m, 208 m, 225 m) du lit d'eau. Ces faibles concentrations seraient en partie dues au phénomène de sorption. Conformément à Atteia (2015), la sorption par la matière organique est importante et diminue la concentration dans les eaux. Mais Worall *et al.* (2011), montrent qu'elle peut avoir un effet négatif sur le long terme car une désorption, bien que lente, est toujours présente et conduit à une contamination des eaux souterraines sur le long terme.

Les sorties de simulation de l'indicateur EPRIP par score, ont permis de mettre en exergue le niveau d'impact environnemental lié aux pratiques maraîchères. Globalement sur les sites de Dogona et de Sakaby, l'indicateur indique un risque faible pour l'environnement car les scores globaux moyens se situent dans l'intervalle 17 à 81 correspondants à une classe de risque faible pour l'environnement (Trévisan *et al.*, 2009). Cependant certaines matières actives des pesticides (l'acétamipride, le cyperméthrine et l'abamectine) révèlent la présence de risque de pollution de l'environnement. Bien que, l'indicateur EPRIP ait indiqué un risque faible pour l'environnement, ceci n'exclut pas l'absence de risque de contamination de l'environnement à long terme. Il a été montré que, 30 à 60% des quantités significatives d'apport de pesticides peuvent être stockées dans les premiers mètres du sol et être libérées lentement en période d'hivernage en l'absence d'apport et lorsque la dégradation est minime (Atteia, 2015).

Conclusion et perspectives

La production maraîchère contribue à l'amélioration des conditions de vie des ménages et à l'approvisionnement en produits de consommation des citoyens. Cependant, l'activité est confrontée au problème d'attaque de ravageurs si bien que des pesticides chimiques de synthèse sont utilisés par les producteurs. Afin de faire l'état des lieux des risques de pollution environnementaux liés à l'usage des pesticides en production maraîchère à Sakaby et Dogona à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), une caractérisation des exploitations maraîchères a été faite. Une estimation des risques de pollution des compartiments environnementaux à l'aide d'indicateur EPRIP a également été nécessaire. Pour l'atteinte de ces objectifs, une enquête auprès des producteurs et l'utilisation d'indicateur d'évaluation d'impact des pesticides en production agricole ont été indispensables.

Les exploitations maraîchères à Sakaby et Dogona sont caractérisées par de petites superficies (0,1 ha en moyenne) exploitées principalement par les hommes (100%) possédant un niveau d'instruction faible (55% niveau primaire).

L'activité maraîchère est dominée par l'usage de fumure organique et de pesticides chimiques de synthèse dominés par la famille des pyréthrinoïdes (91%). La perception de l'impact des pesticides sur le sol et l'eau est diversement appréciée par les producteurs. En effet, 65% des producteurs pensent que les pesticides n'ont aucun effet sur le sol. 60% affirment qu'ils ont un effet bénéfique puisqu'ils protègent les cultures de l'attaque des ravageurs.

En plus du problème d'attaque des ravageurs de cultures, les producteurs maraîchers rencontrent d'autres types de problèmes tels l'accès au marché (37%), l'accès au crédit agricole (47%), l'achat de matériels agricoles (47%) et le manque d'eau d'irrigation (20%).

De l'évaluation des impacts des pesticides par l'indicateur EPRIP, il ressort une présence d'effets toxiques liés à l'usage de methomyl, le glyphosate, l'acétamipride, le cyperméthrine, le lambda-cyhalothrine, le deltaméthrine et l'abamectine sur l'eau souterraine, l'eau de surface et le sol. Toutefois, le risque de présence d'effets toxiques pour les organismes vivants dans l'atmosphère est négligeable. Par ailleurs, il a été observé des concentrations environnementales prédites (0,2 µg/l) des résidus de pesticides dépassant les normes standards (0,1 µg/l) dans l'eau souterraine et aussi des concentrations très élevées (45,3 µg/l) au niveau du sol. D'un point de vue analytique, le risque environnemental lié à l'usage des pesticides est faible pour l'ensemble des scénarii. Aussi l'étude suggère :

- la mise en place d'un mécanisme de surveillance des pesticides ayant comme matière active l'acétamipride, le cyperméthrine et l'abamectine dans les périmètres maraîchers ;
- des mesures directes permettant une validation de l'indicateur EPRIP à travers l'analyse des sédiments d'eau de surface;
- que l'étude puisse être étendue à d'autres sites de production à caractéristiques agro-écologiques différentes ;
- que des modèles de prédiction des risques sur le long terme et sur la santé humaine soient utilisés dans les études ultérieures.

Références bibliographiques

Adekambi S. A. et Adegbola P. Y., 2008. Analyse des systèmes de production des légumes. Rapport d'étude (first draft), 33p.

Agboyi L. K., Djadé K. M., Ahadji-Dabla K. M., KETOH G. K., Nuto Y. et Glitho I. A., 2015. Vegetable production in Togo and potential impact of pesticide use practices on the environment. *International Journal of Biology Chemical Science*, 9(2) : 723-736.

Ahouangninou C. C. A., 2013. Durabilité de la production maraîchère au Sud du Bénin : un essai de l'approche éco-systémique. Thèse de doctorat, option : Environnement, Santé et Développement Durable, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 333p.

Ahouangninou C., 2011. Evaluation des risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires des producteurs maraîchers dans la commune rurale de Tori-Bossito (Sud-Benin), *Cahiers Agriculteurs*, 2011, 20(3), 8p.

Akpo S. K., Coulibaly L. S., Coulibaly L. et Savane I., 2016. Evolution Temporelle de l'utilisation des pesticides en agriculture tropicale dans le bassin versant de la Marahoué, Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324, 14 (1), 2016, 121-131.

Amengor M. G. et Tetteh F. M., 2008. Effect of pesticide application rate on yield of vegetables and soil microbial communities. *West African Journal of Applied Ecology*, Vol. 12, 2008.

Attéia O., 2015. Chimie et pollutions des eaux souterraines. Edition Lavoisier, fr France, 429p.

Autissier V., 1994. Jardins de villes, Jardins des champs : maraîchage en Afrique de l'Ouest du diagnostic à l'intervention, Edition GRET, 295 p.

Bassolé D. et Ouédraogo L., 2007. Problématique de l'utilisation des produits phytosanitaires en conservation des denrées alimentaires et en maraîchage urbain et péri urbain au Burkina Faso : cas de Bobo-Dioulasso, Ouahigouya et Ouagadougou IFDC, 51p.

Bastin S. et Fromageot A., 2007. « Le maraîchage : révélateur du dynamisme des campagnes sahélo-soudaniennes », *Belgeo*, 4, 1-13.

Bayili B., 2014. Risques environnementaux liés à l'utilisation des pesticides dans les agroécosystèmes à base de coton conventionnel et biologique à Komplan 2 dans la commune

de Dano au Burkina Faso. Master 2 de recherche, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso 77p.

Belhadi A., Mehenni M., Reguieg L. et Yakhlef H., 2016. Pratiques phytosanitaires des serristes maraîchers de trois localités de l'Est des Ziban et leur impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement, *Revue Agriculture*, numéro spécial (2016), 09-16.

Beven K., et Germann P., 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18, 1311-1325

Bockstaller C., Wohlfahrt J., Hubert A., Hennebert P., Zahm F., Vernier F., Mazzela N., Keichinger O. et Girardin P., 2015. Les indicateurs de risque de transfert de produits phytosanitaires et leur validation : exemple de l'indicateur I-Phy, *Ingénieries* n° spécial 103-115.

Bockstaller C. et Girardin P., 2002. How to validate environmental indicators ? *Agricultural Systems* 76 (2003) 639-653.

Bockstaller C. et Girardin P., 2003. How to validate environmental indicators ? *Agric. Syst.* 76 (2), 639–653.

Bockstaller C., Wohlfahrt J., Hubert A., Hennebert P., Zahm F., Vernier F., Mazzela N., Keichinger O. et Girardin P., 2008. Les indicateurs de risque de transfert de produits phytosanitaires et leur validation : exemple de l'indicateur I-Phy, *Ingénieries* n° spécial, 103-115.

Bonamy De V. P., Chalmandrier L., Coudel M. De B. B.t, Francois T., Hoell R., Hubaud A., Jaworski C., Lavenus J., Merot C., Roudaut G., Sauterey B., Claessen D. et Robert C., 2008. Réduire les pesticides : les innovations du Grenelle et de l'Europe. « Agriculture : pourquoi et comment réduire les pesticides ? » 7p.

Bonzi S., 2007. Efficacité des extraits aqueux de quatre plantes dans la lutte contre les champignons transmis par les semences de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) : cas particulier de *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson et *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema, Dorenbosch et Van Kesteren. Mémoire de DEA, Institut du Développement Rural, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 39 p.

Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M. P. et Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol : Conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricole. 637p.

Carsel R.F., Mulkey L. A., Lorber M. N. et Baskin L. B., 1985. The Pesticide Root Zone Model (PRZM): a procedure for evaluating pesticide leaching threats to groundwater. *Ecol. Model.* 30, 49-69p.

Charbonnier E., Ronceux A., Carpentier A-S., Soubelet H., Barriuso E. et coordinateurs, 2015. Pesticides : Des impacts aux changements de pratiques, Editions Quae, RD 10,78026 Versailles Cedex, France, 400p.

Cissé I., Fall S. T., Akinbamijo O. O., Diop Y. Mb. et Adediran S. A., 2001. Agriculture urbaine intensive et santé publique : l'utilisation des pesticides et leurs incidences sur la contamination des nappes phréatiques et les risques de santé des populations dans la zone des Niayes au Sénégal. Séminaire Atelier (communication n°3 présentée par Ibrahim Cissé), 19p.

Conchita M. G. K., Sedogo M. P. et Cissé G., 2010. « Dynamique spatio temporelle de l'agriculture urbaine à Ouagadougou : Cas du Maraîchage comme une activité montante de stratégie de survie », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 10 numéro 2 | septembre 2010, mis en ligne le 30 septembre 2010, consulté le 03 janvier 2017. URL : <http://vertigo.revues.org/10312> ; DOI : 10.4000/vertigo.10312.

De Coursey, D.G., 1992. Developing models with more details: do more algorithms give more truth? *Weed Technology*, 6: 709-715.

DGPSA, 2006. Statistiques sur le maraîchage (fruits et légumes) au Burkina Faso. <<http://agristat.bf.tripod.com/>> (accessed 02.10.2010).

Donafologo B. S., Meit L., Traoré S. K., Koné M., Dembélé A. et Houenou P., 2012. Expérimentation du traitement des effluents phytosanitaires issus du rinçage des fonds de cuve et des pulvérisateurs par dégradation abiotique : Cas du diazinon, *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie* 2012, 033 ; 7-14.

Doumbia M. et Kwadjo E., 2009. Pratiques d'utilisation et de gestion des pesticides par les maraîchers en Côte d'Ivoire : Cas de la ville d'Abidjan et de ses banlieues (Dabou et Anyama). *Journal of Applied Biosciences* 18 :992-1002.

ECRIN, Club CRIN « Environnement et Société », Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2002. Modélisation des transferts de pesticides dans l'environnement, ECRIN, Paris, 207 p.

FAO., 2012. Pour des villes plus vertes en Afrique. Premier rapport d'étape sur l'horticulture urbaine et péri-urbaine. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 116p.

FAO, 2010. Etude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso. Rapport final. Secrétariat de la Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet d'un commerce international. 94p.

Feola G., Rahn E. et Binder C. R., 2011. Suitability of pesticide risk indicators for Less Developed Countries : *A comparison. Agric. Ecosyst. Environ.* (2011), doi : 10.1016/j.agee. 2011.05.014.

Ferragu C., Tron I. et Bompays S., 2010. Pesticides et santé : état des connaissances sur les effets chroniques en 2009, Direction Régional des Affaires Sanitaires et Sociales de Bretagne, 124p.

Fontes J et Guinko S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso, Centre National de la Recherche Scientifique de l'Université de Toulouse III, Institut du Développement Rural, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Ouagadougou, Ministère de la coopération Française, Projet Campus 88313101, 67p.

Garic J., 1995. La contamination des eaux superficielles par les produits phytosanitaires : les effets sur le milieu aquatiques, p.25-32. In Impacts des pesticides sur la faune et la flore sauvages. Ministère de l'environnement, Paris.

Gbénonchi M., Lankondjoa K., Damien A., Devault., Koffi- K., A., A. et Komla S., 2015. Utilisation de pesticides chimiques dans les systèmes de production maraîchers en Afrique de l'Ouest et conséquences sur les sols et la ressource en eau : Le cas du Togo. 44e congrès du Groupe Français des Pesticides, 26-29 mai 2014, SCHOELCHER.

Greitens T. J. et Day E., 2007. An alternative way to evaluate the environmental effects of integrated pest management: pesticide risk indicators. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22, 213–222.

Guinko S. 1984. Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat ès sciences naturelles, Université Bordeaux III, Tome 1. France. 318 p.

Gountan A., 2013. Effet des pesticides et de différents types de matières organiques sur la macrofaune et la microflore d'un sol sous culture pluviale de tomate (*Lycopersicum esculentum* Linné). Mémoire de master 2. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 77p.

Gustafson, D. I., 1989. Groundwater Ubiquity Score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry* 8: 339-357.

Hayo M. G. Van Der Werf., 1997. Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement, *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°31, 5-22p.

INSD, 2015. Annuaire statistique 2014, p386.

INSD 2007. Institut National de la Statistique et de la Démographie. Fichier des localités des Hauts-Bassins : analyse des conditions sociales et économiques des localités rurales. Région des Hauts-Bassins, Burkina Faso, 54 p.

Kovach J., Petoldt C., Degni J. et Tette J., 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*, 139, New York State Agricultural Experiment Station, USA.

Kruijne R., Deneer J. W., Lahr J. et Vlaming J., 2011. HAIR2010 Documentation; Calculating risk indicators related to agricultural use of pesticides within the European Union. Wageningen, Alterra, Alterra-report 2113.1, 202 pp.; 12 fig.; 33 tab.; 42 ref.

MAH, 2011. Rapport d'analyse du module maraîchage. Ouagadougou, Burkina Faso 237p.

MAHRH, 2008. Rapport analyse de la filière maraîchère au Burkina Faso, 117p.

MAHRH, 2007. Analyse de la filière maraichage au Burkina Faso, 127p.

Mamy L., Barriuso E. et Gabrielle B., 2008. Evaluer les risques environnementaux des pesticides. Exemple du désherbage des cultures résistantes ou non au glyphosate. *Innovation Agronomiques* 3, 131-143.

Mathieu C. et Pielain F., 1995. Analyse physique des sols: Méthodes choisies. Edition TEC et DOC, 274p.

MEF, 2006. Série de manuels de formation sur l'utilisation des pesticides au Canada atlantique. Volume 01 Base d'Applicateur, 280p.

Napit M. K., 2013. The effect of pesticides on fish fauna of Bhopal lower lake (M.P.). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (7), P725-727.

Naré R. W. A., Savadogo P. W., Gnankambary Z., Nacro H. B. et Sedogo P. M., Analyzing Risks Related to the Use of Pesticides in Vegetable Gardens in Burkina Faso. *Agriculture, Forestry and Fisheries* , 4(4), 2014, p. 165-172. doi: 10.11648/j.aff.20150404.13.

Ngamo L. S. T. et Hance Th., 2007. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 2007, 25(4), 215-220.

Ouattara Z. A., 2016. Caractérisation des systèmes de production maraichers et analyse des déterminants de la fertilité des sols sous cultures maraichères dans la province du Houët (Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur, option : agronomie. Institut du Développement rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 61p.

Ouédraogo E., Mando A. et Zombré N. P., Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. . *Agr Ecosyst Environ*. 2001 84:259-66.

Ouédraogo R. A., 2011. Biologie, écologie et efficacité des extraits végétaux contre *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema, Dorenbosch & van Kesteren et *Fusarium moniliforme* Sheld., agents de moisissures du sorgho. Mémoire d'ingénieur d'agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 89p.

Padovani L., Trevisan M. et Capri E., 2004. A calculation procedure to assess potential environmental risk of pesticides at the farm level. *Ecological Indicators* 4, 111-123 or www.elsevier.com/locate/ecolind.

PAN/CTA, 1993. Pesticides et agriculture tropicale. Dangers et alternative. 28p

Paré N., 2011. Pollution de l'eau par les pesticides en milieu viticole. Languedocien : construction d'un modèle couplé pression-impact pour l'expérimentation virtuelle de pratiques culturales à l'échelle de petits bassins versants. Centre International d'études supérieures en Sciences Agronomiques (Montpellier SupAgro). Thèse de doctorat en systèmes intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosiences et Environnement. Discipline Eaux continentales et Société, 304p.

Pare S. et Toe A. M., 2011. Plan de lutte antiparasitaire et de gestion des pesticides. Rapport final, 137p.

PNUD, 1998. Rapport sur le développement humain durable, Burkina Faso, 250p

Räsänen K., Mattila T., Porvari P., Kurppa S. et Tiilikala K., 2015. Estimating the development of ecotoxicological pressure on water systems from pesticides in Finland 2000-2011. *Journal of Cleaner Production* 89 (2015), 65-77.

Robineau O., 2013. Vivre l'agriculture dans la ville africaine. Une géographie des arrangements entre acteurs à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Thèse de doctorat. Université de Montpellier III, France, 378p.

Sakandé F., 2016. Caractérisation des pratiques phytosanitaires et recherche de quelques résidus de pesticides dans le chou pommé (*Brassica oleracea L.*) produit dans la commune de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Mémoire d'ingénieur, option agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 72p.

Samuel O., Dion S., ST-Laurent L. et April M.-H., 2012. Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement [en ligne]. Québec : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation/ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs/Institut national de santé publique du Québec, 48 p. Consultable sur Internet : <<http://www.mapaq.gouv.qc.ca>>, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca>> et <<http://www.inspq.qc.ca>>.

Samuel O., Dion S., St-Laurent L. et April M. H., 2007. Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement [en ligne]. Québec ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation/ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs/Institut national de santé publique du Québec, 44 p.

Schrack D., Coquil X., Ortat A. et Benoît M., 2009. Rémanence des pesticides dans les eaux issues de parcelles agricoles récemment converties à l'Agriculture Biologique. *Innovations Agronomiques*, 4, p259-268.

Son D., Somda I., Legreve A. et Schiffers B., 2017. Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cah. Agric.* 2017, 26, 25005.

Sougnabé S.P., Yandia A., Acheleke J., Brevault T., Vaissayre M. et Ngartoubam L.T., 2009. Pratiques phytosanitaires paysannes dans les savanes d'Afrique Centrale. Actes du colloque « Savanes africaines en développement : innover pour durer », 20-23 avril 2009. Garoua (Cameroun).13p.

Surdyk N. et Vernoux J. F., 2011. Approche de la vulnérabilité spécifique des eaux souterraines vis-à-vis des produits phytosanitaires. BRGM/RP-59656-FR, 60p. 22ill.

Thiam T. et Sagna M. B., 2009. Pesticide Action Network Africa. Monitoring des pesticides au niveau des communautés à la base. Rapport Régional Afrique, 57p.

Toé A. M., 2010. Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso. Secrétariat de la Convention de Rotterdam, 94 p. Disponible sur : www.pic.int/Portals/5/download.aspx?d=UNEP-FAO-RC-SHPFs-PilotstudyBurkina.Fr.pdf.

Toé A. M., Kinane M. L., Kone S. et Sanfo B. E., Le non-respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticide en culture cotonnière au Burkina Faso : quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales*, 2004, 2(3-4), 275-280p.

Trevisan M., Di Guardo A. et Balder Acchi M., 2009. An environmental indicator to drive sustainable pest management practices. *Environmental Modelling and Software* 24 (2009) 994-1002.

US-EPA. The ECOTOX (ECOTOXicology) database provides single chemical toxicity information for aquatic and terrestrial life. Retrieved June, 2009, from <http://cfpub.epa.gov/ecotox/>.

Wade C. S., 2003. L'utilisation des pesticides dans l'agriculture périurbaine et son impact sur l'environnement. Thèse de doctorat en pharmacie, université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 59p.

Wohlfahrt J., 2008. Développement d'un indicateur d'exposition des eaux de surface aux pertes de pesticides à l'échelle du bassin versant. Thèse de doctorat, spécialité : Sciences Agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine. Nancy-Université France, 199p.

Worall F., Fernandez-Perez M., Johnson AC., Flores-Cesperedes F. et Gonzalez-Pradas E., 2011. Limitations on the role of incorporated organic matter in reducing pesticide leaching. *J Contam Hydrol*, 49 : 241-262.

Zahm F., Alonso Ugaglia A., Boureau H., Del’homme B., Barbier J. M., Gasselin P., Gafsi M., Guichard L., Loyce C., Manneville V., Menet A., Redlingshofer B. Agriculture et exploitation agricole durables : état de l’art et proposition de définitions revisitées à l’aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. *Innovations Agronomiques* 46 (2015), 105-125.

ZIDA., 2009. Monographie de Bobo-Dioulasso, 11- 44p.

Zongo S., Ilboudo Z., Waongo A., Gnankiné O., Doumma A., Sembène M. et Sanon A., 2013. Risques liés à l’utilisation d’insecticides au cours du stockage du niébé (*Vigna unguiculata L. Walp.*), dans la région centrale du Burkina Faso, 26p.

Zongo N., 2009. Impact des pesticides et des amendements organiques sur les caractéristiques microbiologiques des sols des agrosystèmes maraîchers de la ville de Ouagadougou. Mémoire de diplôme d’étude approfondie en gestion des ressources naturelles, option : système de production végétal. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 70p.

Annexes

Annexe I : Données d'entrées de l'indicateur EPRIP

Taux carbone organique			Granulométrie à trois fractions		Coordonnées géographiques des exploitations						Distance entre les exploitations le point d'eau (m)
N° d'ordre	Carbone (%)	M.O (%)	Argile %	Limons %	Sables %	Pente %	Exploitation		Point d'eau		
							Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
1	1,33	2,29	43	29	28	0,10	N11.22442°	W004.27939°	N11.22411°	W004.27779°	178
2	0,63	1,09	11	18	72	0,10	N11.20312°	W004.27876°	N11.20332°	W004.28065°	208
3	0,63	1,08	21	15	64	0,70	N11.22259°	W004.27969°	N11.22255°	W004.27923°	114
4	0,25	0,43	8	12	81	0,10	N11.20556°	W004.28083°	N11.20541°	W004.28088°	78
5	1,13	1,95	17	16	68	0,10	N11.21977°	W004.28096°	N11.21876°	W004.28073°	197
6	0,65	1,12	39	18	43	2,20	N11.22443°	W004.27893°	N11.22345°	W004.27830°	15
7	0,80	1,39	17	12	71	1,00	N11.22134°	W004.27939°	N11.22093°	W004.27997°	225
8	0,96	1,65	30	17	53	2,2	N11.22180°	W004.27979°	N11.22181°	W004.27952°	95
9	0,81	1,39	33	14	53	1,00	N11.20075°	W004.28138°	N11.20085°	W004.28126°	17
10	0,66	1,15	21	12	67	0,10	N11.21820°	W004.28090°	N11.21652°	W004.28148°	94
11	1,86	3,21	21	8	71	1,50	N11.21740°	W004.27918°	N11.21485°	W004.28161°	80
12	1,23	2,13	27	18	55	1,00	N11.21495°	W004.28232°	N11.21467°	W004.28235°	99
13	0,88	1,52	17	11	73	1,50	N11.19518°	W004.28348°	N11.19513°	W004.28335°	134
14	0,76	1,32	13	11	76	0,70	N11.21820°	W004.28090°	N11.21635°	W004.28177°	140
15	0,67	1,16	14	9	77	2,05	N11.21031°	W004.28261°	N11.20954°	W004.28222°	19
16	0,96	1,65	14	16	70	0,10	N11.20870°	W004.28090°	N11.20871°	W004.28104°	129
17	0,83	1,44	24	12	64	0,10	N11.19968°	W004.28116°	N11.19958°	W004.28104°	70
18	1,10	1,89	15	12	73	1,00	N11.21185°	W004.28247°	N11.21099°	W004.28251°	64
19	1,49	2,57	32	14	55	0,10	N11.21828°	W004.28245°	N11.21714°	W004.28144°	79
20	1,05	1,81	10	4	86	1,10	N11.19659°	W004.28161°	N11.19588°	W004.28176°	49
21	1,11	1,91	21	14	65	0,40	N11.22792°	W004.27893°	N11.22702°	W004.27900°	128
22	1,61	2,78	19	14	67	1,00	N11.21916°	W004.28153°	N11.21822°	W004.28074°	31
23	0,95	1,64	29	12	59	1,00	N11.22091°	W004.28067°	N11.21981°	W004.28004°	168
24	1,26	2,17	27	22	51	0,10	N11.22706°	W004.27890°	N11.22614°	W004.27905°	47
25	0,60	1,04	31	12	57	1,50	N11.21301°	W004.28331°	N11.21313°	W004.28319°	18

26	1,20	2,08	31	14	55	1,50	N11.22354°	W004.27893°	N11.22239°	W004.27891°	17
27	0,55	0,95	13	24	62	1,00	N11.21752°	W004.28228°	N11.21743°	W004.28184°	389
28	1,01	1,74	27	12	60	1,50	N11.22792°	W004.77983°	N11.22821°	W004.27927°	15
29	1,11	1,91	31	18	51	1,00	N11.21593°	W004.28247°	N11.21575°	W004.28192°	102
30	0,92	1,59	7	17	76	0,50	N11.22705°	W004.27983°	N11.22714°	W004.27921°	30

Annexe II : Principaux pesticides rencontrés

Noms commerciaux	Classe OMS	Substances actives	Fréquence (%)	Type	Homologation CSP	Famille chimique
Pacha	II	Acetamipride 10g/l + Lambda-cyhalothrine 15g/l	60	Insecticide	Homologation expirée 2016 pour cultures maraîchères	Pyréthrinoïdes; Neonicotinoïdes
Lamda power	III	lambda-cyhalothrine 25g.l	53,3	Insecticide	Pas homologués	Pyréthrinoïdes
Lamda super	II	lambda-cyhalothrine 25g.l	40	Insecticide	Pas homologués	Pyréthrinoïdes
Conquest 88EC	II	Acetamipride (8g/l) +cyperméthrine (80 g/l)	20	Insecticide	Homologué pour Cotonculture	Néonicotinoïdes ; Pyréthri-noïdes
Acarius 018C	II	Abamectine18g/l	13,3	Insecticide/ acaricide	Cultures maraîchères	Avermectines
Decis	II	Deltamethrine 25g/l	13,3	Insecticide	Homologué Cultures maraîchères	Pyréthri-noïdes
Roundup	III	Glyphosate 360g/l	13,3	Herbicide	Homologué sur mauvaises herbes annuelle et pérennes	Amino-Phosphonates
ecomat			10	Insecticide		
Glyphader	III	glyphosate (750g/kg)	10	Herbicide	Herbicide systématique non sélectif autorisé avant la culture contre les adventices annuels et pérennes (expiré 2015)	Amino-Phosphonates
BOMEK 18	II	Abamectine18g/l	6,7	Insecticide/ acaricide	Homologation expirée (2015) Cultures maraîchères	Avermectines

Cypercal	II	Cyperméthrine 120 g/l – profénofos 600 g/l	6,7	Insecticide	Insecticide – acaricide autorisé contre les principaux insectes carpophages et phyllophages du cotonnier et contre les acariens (expiré 2015)	Organophosphorés
Emacot	II	Emamectine-benzoate 19g/l	6,7	Insecticide	Cotonculture	Avermectines
Tihan 157g/l	III	Flubendiamide 100g +Spirotetramite75g/l	6,7	Insecticide	Ravageurs de la tomate	Acide Diamide Phtalique; keteonoles
Titan	II	acétamipride (25g/l)	6,7	Insecticide	Insecticide autorisé contre les insectes piqueurs-suceurs des cultures maraîchères	Neonicotinoides
Attakan	II	cyperméthrine 144 g/l Imidaclopride 200g/l	3,3	Insecticide	Homologué pour Cotonculture	Pyréthriinoïdes + Chloronicotiniles
Biok 16	II	<i>Bacillus thuringiensis</i> (16000Ul/mg)	3,3	Insecticide	Insecticide foliaire autorisé pour lutter contre les chenilles ravageuses des cultures maraîchères	Bactérie
caiman B19	II	Emamectine-benzoate 19,2g/l	3,3	Insecticide	Homologué pour Cotonculture	Avermectines
CAPT 96	II	Acétamipride (24 g/l) + Cyperméthrine (72 g/l)	3,3	Insecticide	Homologation expirée (2016) pour Cultures maraîchères	Néonicotinoïdes ; Pyréthriinoïdes
Cigogne	II	Profenofos	3,3	Insecticide	Non homologué	Organophosphorés
Coga 35g/l	III	Lambda-cyhalothrine (15 g/l) +acetamipride (20g/l)	3,3	Insecticide	Homologué culture maraîchère	Pyréthriinoïdes ; néonicotinoïdes
Duel CP 186EC		Cypermethrine 36g/l + chlorpyriphos 144g/l	3,3	Insecticide- acaricide	Homologué pour Cotonculture	Pyréthriinoïdes; organophosphorés
Furadan	Ib	Carbofuran	3,3	Insecticide-nématicide	Cultures maraîchères	Carbamates
Gramopat	II	Paraquat Chloride	3,3	Herbicide	Herbicide	Pyridines

Gramosol K-optimal	III	Lambda-cyhalothrine (15 g/l) +acetamipride (20g/l)	3,3 3,3	Insecticide	Homologué pour maraîchage	Pyréthrinoïdes; Neonicotinoïdes
Savahaller Valdiper	II	Methomil 250g /Kg	3,3 3,3	Insecticide	Homologué pour cultures maraîchères	Carbamates
