



**ETUDE DE LA VULNERABILITE A LA POLLUTION AGRICOLE DE  
L'AQUIFERE ALLUVIAL DE KARFIGUELA  
(BANFORA, BURKINA FASO)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT  
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 27 Octobre 2016 par  
**Aldolphe Kouliga GOUGO**

Travaux dirigés par : **Ing.Yembi Nestor Fiacre COMPAORE**

Assistant Technique du Projet PADI-BF101

**Dr. Mahamadou KOÏTA**

Enseignant-Chercheur au département GCH, Fondation 2IE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Amadou KEÏTA

Membres et correcteurs : Dr. Youssouf KOUSSOUBE

Dr. Mahamadou KOÏTA

**Promotion [2015/2016]**

## Remerciements

---

Au terme de ce travail, nous remercions de vive voix :

- la fondation 2IE, à travers son corps enseignant, pour la qualité de l'enseignement reçu ;
- le Dr Mahamadou KOÏTA, Enseignant-Chercheur au 2IE, pour ses précieuses contributions dans la réalisation de ce travail ;
- Monsieur Yembi Nestor Fiacre COMPAORE, qui nous a accordé toutes les facilités techniques et matérielles pour le bon déroulement de nos travaux ;
- Monsieur Massa Ahmed KAM, qui nous a appuyé dans la prise en main du logiciel Arcgis.

Nous voudrions également dire merci :

- aux personnels des Directions Régionales de l'Eau des Cascades et des Hauts-Bassins pour leur amitié. Nous pensons particulièrement à Mr. DJIRE, Mr BONKOUNGOU et Mr. LOUGUE... Merci à vous et que le Seigneur vous bénisse ;
- aux camarades de la promotion 2014-2016, Eau -Assainissement du 2IE, pour ces deux années chaleureuses passées ensemble.

Nous associons à nos remerciements nos parents pour leur patience, leurs conseils et leur amour.

Un grand merci aussi aux producteurs et aux agents d'encadrement technique de la plaine de Karfiguéla pour leur disponibilité.

## Résumé

---

La plaine alluviale de Karfiguéla est située dans le bassin de la Comoé, à l'extrême Sud-Ouest du Burkina Faso entre les longitudes 4°42'0''W et 4°50'0''W et les latitudes 10°28'0''N et 10°44'0''N. Etendue sur une superficie de 45,78 km<sup>2</sup>, la plaine alluviale de Karfiguéla est marquée par des activités agricoles caractérisées par une utilisation diversifiée d'intrants (pesticides et engrais). L'application incontrôlée de ces intrants peuvent polluer les ressources en eaux souterraines qui peuvent être exploitées pour des besoins de consommation humaine et agricoles dans un contexte de raréfaction des eaux de surface du bassin. Dans l'optique de préserver la qualité de ces ressources en eau, cette étude vise à évaluer la vulnérabilité de la plaine à la pollution agricole par la méthode DRASTIC à travers l'utilisation du SIG. La méthode consiste à mettre en évidence les domaines sensibles à la pollution d'un bassin à travers la cartographie de sept paramètres hydrogéologiques. Pour ce faire, un inventaire des ouvrages de captage des eaux souterraines, des pesticides et des engrais a été fait. Les résultats des inventaires ont permis de savoir que les eaux souterraines sont peu exploitées : seulement trois (03) puits maraîchers ont été enregistrés. Ces puits constituent des sources potentielles de pollution des eaux souterraines car n'étant pas équipés de margelles. En matière d'intrants, les résultats de l'enquête ont révélé l'application d'une grande diversité de pesticides, de fertilisants chimiques (NPK, urée) et organiques (fumure organique). 49% des pesticides appliqués sont prohibés et certains d'entre eux sont persistants avec une solubilité élevée dans l'eau.

L'évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC a permis de mettre en évidence quatre (04) zones : une zone de vulnérabilité très faible (4,7%) située dans la partie centrale de la plaine, une zone de vulnérabilité faible (49,2%) localisée dans tous les compartiments de la plaine à des degrés divers, une zone de vulnérabilité moyenne (45,9%) située en majorité dans le Nord-Ouest et une zone de vulnérabilité forte (0,2%) confinée dans la zone de Karfiguéla au Nord-Ouest. La validation de la carte de l'indice DRASTIC a été testée avec la distribution spatiale des teneurs en nitrates ; les résultats ont donné un taux de coïncidence de (37,5%).

### Mots Clés :

---

1. Plaine alluviale
2. DRASTIC
3. Pesticides
4. Vulnérabilité
5. Pollution
6. Eau souterraine

## Abstract

---

The alluvial plain Karfiguela is located in the Comoe basin in south-western part of Burkina Faso between longitudes 4°42'0 " W and 4 °50'0"W and latitudes 10°28'0 " N and 10 ° 44'0 "N and Extended over an area of 45.78 km<sup>2</sup>. The alluvial plain of Karfiguela is marked by agricultural activities characterized by a diversified use of agricultural inputs (pesticides and fertilizers). These inputs are used in order to improve agricultural yields. The application of these inputs can constitute pollute groundwater. Groundwater resources can be exploited by the population of the alluvial plain for various needs in a context of scarcity of surface water of the basin. In order to help to protect the groundwater resources of the plain, our study has set a goal to assess the vulnerability of the plain to the agricultural pollution by the DRASTIC method. This method is coupled with the use of GIS. The method is to highlight areas sensitive to pollution of a basin through the mapping of seven of its hydrogeological parameters . In first time, to achieve our objectives, an inventory of groundwater catchment, pesticides and fertilizers has been done. Survey results have allowed to know that the groundwater was little used: only three (03) garden wells have been recorded. These wells are potential sources of groundwater pollution because they are not equipped with curbstone. About the agricultural inputs, the survey showed the application of a variety of pesticides, the use of chemical and organic fertilizers. 49% of the pesticides used in the study zone are prohibited, and some of them present a persistent character in the environment with a high solubility.

The vulnerability assessment by the DRASTIC allowed to identify four (04) areas of vulnerability: a very low vulnerability zone (4.7%) located in the central part of plain, a low vulnerability zone (49.2%) in the all compartments of the plain, a medium vulnerability area (45.9%) located in the main at north west, and high vulnerability area (0.2%) located also in the north-west part of the plain toward Karfiguéla. The validation of the map of the DRASTIC index was tested with the spatial distribution of nitrate levels; the results present a coincidence rate of 37.5%.

### Key words

---

1. Alluvial plain
2. DRASTIC
3. Pesticides
4. Vulnerability
5. Pollution
6. Groundwater

## Liste des Abréviations

---

- 2IE** Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.
- AEC** Agence de l'Eau des Cascades.
- APEFE** Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger.
- CLE -HC** Comité Local de L'eau de la Haute Comoé.
- BD** Base de Données.
- DGPS** Differential Global Positioning System.
- DREAH/Cas** Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement des Cascades.
- DREAH/HB** Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement des Hauts-Bassins.
- FAO** Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- DGH** Direction Générale de l'hydraulique.
- INSD** Institut National de la Statistique et de la Démographie.
- MAHRH** Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques.
- OMS** Organisation Mondiale de la Santé.
- ONEA** Office National de l'Eau et de l'Assainissement.
- PADI** Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation.
- SIG** Système d'Information Géographique.
- SNDDAI** Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Agriculture Irriguée.
- SN SOSUCO** Société Nouvelle Sucrière de la Comoé
- VREO** Programme de Valorisation des Ressources en Eau de l'Ouest.
- WBI** Wallonie - Bruxelles International.

## Table des matières

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>I</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>IX</b>
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>I. Contexte général et problématique .....</b>	<b>1</b>
<b>I Objectif général .....</b>	<b>2</b>
<b>II Plan du travail.....</b>	<b>2</b>
<b>III Synthèse bibliographique sur la méthode DRASTIC .....</b>	<b>2</b>
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET GENERALITES.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Situation géographique de la plaine alluviale de Karfiguéla.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Caractéristiques climatiques.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. Géologie et hydrogéologie.....</b>	<b>5</b>
1.3.1. Géologie.....	5
1.3.2. Hydrogéologie.....	6
<b>1.4. Sols et végétations .....</b>	<b>7</b>
1.4.1. Sols.....	7
1.4.2. La végétation .....	8
<b>1.5. Hydrologie de surface .....</b>	<b>8</b>

<b>CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Inventaire des ouvrages de captage des eaux souterraines .....</b>	<b>9</b>
2.1.1. Matériel .....	9
2.1.2. Méthode .....	9
<b>2.2. Caractérisation des intrants agricoles .....</b>	<b>9</b>
2.2.1. Matériel .....	10
2.2.2. Méthode .....	10
2.2.2.1. Recherche documentaire .....	10
2.2.2.2. Echantillonnage .....	10
2.2.2.3. Enquête .....	11
2.2.2.4. Analyse des données .....	11
<b>2.3. Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution agricole par la méthode DRASTIC .....</b>	<b>11</b>
2.3.1. Matériel .....	12
2.3.2. Méthode .....	12
2.3.2.1. Hypothèses .....	12
2.3.2.2. Evaluation des paramètres DRASTIC .....	13
2.3.2.3. Carte de vulnérabilité DRASTIC .....	17
2.3.2.4. Validation de la carte de vulnérabilité .....	17
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Inventaire des ouvrages de captage des eaux souterraines .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Inventaires des intrants agricoles .....</b>	<b>20</b>
3.2.1. Population de l'enquête .....	20
3.2.2. Engrais utilisés sur la plaine alluviale de Karfiguéla .....	21
3.2.3. Pesticides utilisés sur la plaine alluviale de Karfiguéla .....	22
3.2.3.1. Répartition globale par type de pesticide .....	22
3.2.3.2. Répartition par type de classe de toxicité .....	22
3.2.3.3. Homologation .....	24
3.2.3.4. Familles chimiques .....	24
3.2.3.5. Matières actives .....	25
3.2.3.6. Domaine d'application .....	26
3.2.3.7. Source d'approvisionnement .....	26
3.2.3.8. Gestion des déchets phytosanitaires sur la plaine .....	27
3.2.3.9. Estimation de la quantité de produits phytosanitaires .....	28

<b>3.3. Caractérisation de la vulnérabilité .....</b>	<b>28</b>
3.3.1. Epaisseur de la zone non saturée (D) .....	28
3.3.2. Recharge (R).....	30
3.3.3. Milieu aquifère (A) .....	32
3.3.4. Sol (S) .....	34
3.3.5. Topographie (T) .....	35
3.3.6. Impact de la zone non saturée (I) .....	37
3.3.7. Conductivité (C) .....	39
3.3.8. Indices de vulnérabilité DRASTIC version standard .....	41
3.3.9. Validation de la carte de vulnérabilité.....	43
 <b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>45</b>
 <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>47</b>
 <b>ANNEXES.....</b>	<b>I</b>

## Liste des tableaux

---

Tableau I : Poids des paramètres DRASTIC (Aller et <i>al.</i> ,1987)	13
Tableau II : Cotes selon les classes de profondeur (Murat et <i>al.</i> ,2003)	14
Tableau III : Cotes selon le niveau de la recharge en cm (Murat et <i>al.</i> ,2003)	14
Tableau IV : Cotes selon le type d'aquifère (Murat et <i>al.</i> , 2003)	15
Tableau V : Cotes selon la nature des sols (Murat et <i>al.</i> ,2003)	15
Tableau VI : Cotes selon la pente (Murat et <i>al.</i> ,2003)	16
Tableau VII : Cotes selon la nature de la zone non saturée (Murat et <i>al.</i> ,2003)	16
Tableau VIII : Cotes selon la conductivité hydraulique (Murat et <i>al.</i> ,2003)	17
Tableau IX : Classification des indices DRASTIC (Aller et <i>al.</i> ;1987)	17
Tableau X : Structure de l'échantillon	20
Tableau XI : Répartition des différents types de fertilisants	21
Tableau XII : Domaine d'application.	26
Tableau XIII : Classes et indices des profondeurs	28
Tableau XIV : Classe et indice de la recharge.	31
Tableau XV : Classes et indice de l'aquifère (A)	32
Tableau XVI : Classes et indices des sols.	34
Tableau XVII : Classes et indices des pentes.	35
Tableau XVIII : Classes et indices de la zone non saturée	37
Tableau XIX : Classes et indices de la conductivité	39
Tableau XX : Classes de vulnérabilité DRASTIC version standard	42
Tableau XXI : Coïncidence entre les concentrations en nitrate et les classes de vulnérabilité.	44

## Liste des figures

---

Figure 1: Localisation de la plaine de Karfiguéla, Sources : IGB, PADI BF 101. _____	4
Figure 2 : Formations géologiques de la plaine alluviale de Karfiguéla _____	6
Figure 3 : Répartition des ouvrages de captage des eaux souterraines _____	19
Figure 4 : Répartition des types de pesticides _____	22
Figure 5 : Répartition des pesticides par classe de toxicité _____	23
Figure 6 : Répartition du statut d'homologation _____	24
Figure 7 : Répartition des familles chimiques _____	25
Figure 8 : Répartition des matières actives _____	25
Figure 9 : Sources d'approvisionnement _____	27
Figure 10 : Gestion des emballages phytosanitaires. _____	28
Figure 11 : Carte d'indices de vulnérabilité des profondeurs _____	30
Figure 12 : Carte d'indice de vulnérabilité liée à la recharge _____	31
Figure 13 : Carte d'indices de vulnérabilité de l'aquifère _____	33
Figure 14 : Carte d'indice de vulnérabilité de sols _____	35
Figure 15 : Carte d'indices de vulnérabilité des pentes _____	36
Figure 16 : Carte d'indices de vulnérabilité de la zone non saturée _____	38
Figure 17 : Carte d'indices de vulnérabilité des conductivités hydrauliques _____	40
Figure 18: Carte de la vulnérabilité de la plaine alluviale de Karfiguéla _____	43

## **Avant-propos**

### **Cadre de l'étude**

La présente étude est abordée dans le cadre d'un stage de fin de cycle de formation des étudiants du 2IE en vue de l'obtention d'un diplôme de master d'ingénierie dans le domaine de l'eau et de l'assainissement ; elle s'inscrit dans un cadre plus global d'un travail de recherche sur la caractérisation de la plaine alluviale de Karfiguéla mené par le projet PADI-BF 101. Le thème de l'étude est « Etude de la vulnérabilité à la pollution agricole de l'aquifère alluvial de Karfiguéla (Banfora, Burkina Faso) ». Son encadrement a été assuré conjointement par le Dr Mahamadou KOÏTA, Enseignant-Chercheur au 2IE et par Monsieur Yembi Nestor Fiacre COMPAORE, Ingénieur du Génie rural, Hydrogéologue, Assistant Technique du projet PADI-BF 101.

Le stage s'est essentiellement déroulé à Bobo-Dioulasso dans l'enceinte de la DREA/HB et a été ponctué de sorties terrain sur la plaine en vue de la collecte de données.

### **Présentation du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation**

Le PADI est né de l'initiative du Ministère en charge de l'Agriculture et de l'Hydraulique du Burkina, de l'APEFE et de WBI afin de faire écho à la Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Agriculture Irriguée dont l'objectif principal est de parvenir à l'accroissement de la sécurisation de la production agricole par le biais d'une agriculture irriguée. Le PADI a démarré en 2011 et devrait prendre fin en 2013. Mais grâce à l'accord des partenaires du Nord (APEFE & WBI) le projet a bénéficié d'une reconduction pour une nouvelle phase de trois (03) ans, le PADI phase II, à compter de l'année 2014 et ce, afin de permettre l'achèvement effectif des activités inscrites dans le volet Recherche-Développement. Le PADI couvre la région des Cascades, des Hauts-Bassins et du Plateau-Central.

L'objectif général du PADI est de contribuer à l'amélioration des capacités techniques des structures impliquées dans la mise en œuvre de la SNDDAI en l'occurrence les directions régionales et les bénéficiaires directs par le développement d'outils opérationnels et le renforcement des capacités.

La composante « BF 101 du PADI » est l'une des quatre composantes du programme qui s'occupe principalement de la promotion de l'irrigation à travers l'utilisation de l'eau souterraine. Les travaux du présent stage s'inscrivent dans le cadre de cette composante.

## INTRODUCTION GENERALE

### I. Contexte général et problématique

Le Burkina Faso est un pays situé au cœur de l'Afrique Occidentale, avec une superficie de 274 000 km<sup>2</sup>. Sa population est estimée à 19 034 397 d'habitants au titre de l'année 2016 selon les projections démographiques de l'INSD ; le secteur agricole constitue une composante essentielle de son économie ; en effet, ce secteur emploie 86% de la population et génère environ 25% du produit intérieur brut (MAHRH, 2007).

En dépit de son importance relative pour l'économie, l'agriculture du pays est influencée par des perturbations du régime pluviométrique (Dembélé *et al.*,2010). Pour amoindrir la dépendance aux caprices pluviométriques, le Burkina Faso s'est engagé dans la promotion de l'irrigation en vue de la sécurisation de sa production agricole.

Cependant, l'intensification de l'agriculture irriguée dictée par la pression démographique et les aléas climatiques a introduit l'utilisation massive et anarchique de produits phytosanitaires et d'engrais (Toé, 2010). Ces produits sont susceptibles de contaminer les ressources en eaux souterraines qui sont des réservoirs potentiels non seulement pour l'alimentation en eau potable mais aussi pour l'irrigation dans un contexte de raréfaction des eaux de surface (Ramade,1992, Toé *et al.*,2004).

La plaine alluviale de Karfiguéla, qui fait l'objet de la présente étude, est aussi caractérisée par des activités maraîchères intenses avec un recours systématique aux intrants agricoles (pesticides, engrais). Ses besoins en eau d'irrigation sont essentiellement satisfaits à partir d'un cours d'eau pérenne, la rivière Comoé. La Comoé est également utilisée par de gros usagers comme l'ONEA pour la desserte la ville de Banfora et la SN-SOSUCO pour l'irrigation d'un périmètre de 4000 ha de cannes à sucre. Malheureusement, depuis un certain nombre d'années, des signes inquiétants semblent indiquer une diminution de la disponibilité de cette ressource entraînant parfois des conflits d'usage (CLE-HC, 2010). Dans un tel contexte, il paraît judicieux d'envisager l'exploitation des eaux souterraines pour la survie de la plaine. Justement la plaine alluviale de Karfiguéla dispose d'importantes potentialités en eaux souterraines qui sont pourtant peu exploitées. En effet, selon les études de Dao (2015) le volume annuel de la réserve exploitable des eaux souterraines de la plaine est de 13 310 875 m<sup>3</sup> avec un taux d'exploitation faible de 10,62%. Mais il faut noter que la mobilisation incontrôlée de ces eaux et l'usage abusif des intrants agricoles peuvent avoir des effets négatifs comme l'épuisement de la nappe et l'altération de sa qualité par la pollution. Une gestion durable des ressources en eau s'impose

donc au niveau de la plaine. Cette gestion passe par la connaissance de la vulnérabilité des eaux à la pollution agricole qui constitue le principal sujet de notre étude.

## **I Objectif général**

L'objectif général de cette étude est d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère alluvial à la pollution agricole par la méthode DRASTIC.

De façon spécifique, il s'agit de :

- faire un inventaire des pesticides, des engrais et des ouvrages de captage des eaux souterraines ;
- évaluer et caractériser les intrants agricoles (pesticides, engrais) actuellement utilisés sur la plaine alluviale ;
- évaluer la vulnérabilité de la plaine à la pollution agricole.

## **II Plan du travail**

Le plan de notre étude est articulé autour de trois chapitres qui s'organisent de la façon suivante :

- ☞ le chapitre I aborde essentiellement l'introduction et les généralités spécifiques à la zone de l'étude ;
- ☞ le chapitre II est consacré à la présentation du matériel et de la méthodologie utilisés pour traiter l'ensemble des thématiques abordées par notre étude ;
- ☞ le chapitre III est structuré autour de la présentation des résultats obtenus suivis de discussions ;
- ☞ la dernière partie est consacrée à la conclusion assortie de recommandations.

## **III Synthèse bibliographique sur la méthode DRASTIC**

L'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution est un outil qui permet d'identifier les domaines les plus sensibles à la pollution d'un système hydrogéologique. Plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution existent. Parmi ces méthodes on a : la méthode SI (Ribeiro ,2000), la méthode DRASTIC (Aller et al.,1987), la méthode GOD (Foster,1987), etc. La méthode DRASTIC est la plus utilisée du fait de la facilité de sa mise en œuvre et de son coût relativement faible ; l'application de la méthode DRASTIC repose sur sept (07) paramètres qui influent la migration et l'atténuation des polluants : la profondeur à la nappe, la recharge efficace, la lithologie de l'aquifère, la nature du sol, la topographie, l'impact

de la zone non saturée et la conductivité hydraulique. La redondance des paramètres constitue l'un des points les plus controversés de la méthode. D'après Aubre (1992), la profondeur à la nappe et la recharge constituent les paramètres les plus corrélés du fait que la recharge est dépendante de l'épaisseur de matériaux présents avant d'arriver à la nappe. D'après Van Stempvoort *et al.* (1992), le type de sol et la zone non saturée sont des paramètres redondants puisque le sol fait partie de la zone non saturée. De même pour les aquifères de surface, le type d'aquifère et le type de sol et la zone non saturée sont redondants. Cependant pour certains auteurs, la redondance des paramètres n'altère en rien la qualité des résultats. En effet pour Rosen (1994), la redondance des paramètres tend à diminuer la variabilité des résultats ; de plus en cas d'une erreur d'évaluation, cette erreur peut être compensée par l'évaluation d'un autre paramètre redondant à celui erroné.

Par ailleurs, la méthode DRASTIC a maintes fois aussi été critiquée pour divers autres facteurs. En guise exemple, on reproche à la méthode qu'elle ne prend pas en compte directement la capacité d'absorption du sol, le temps de migration et la dilution des contaminants (Rosen, 1994). Rupert (1999), rapporte que la plus grande faiblesse des cartes de vulnérabilité développées avec la méthode DRASTIC réside dans la pondération exagérée accordée à l'impact de la zone non saturée. Pour Rupert (1999) ce paramètre est difficile à évaluer puisqu'il intègre plusieurs processus qui influencent la contamination (épaisseur de la couche, changement de conductivité hydraulique en fonction de la saturation, écoulement préférentiel créé par les hétérogénéités, les roches ou racines, etc.) et ne qui sont pas pris en compte directement dans le calcul de l'indice DRASTIC.

Enfin DRASTIC ne tient pas compte d'un certain nombre de paramètres physiques qui ont une forte influence sur la pollution tels que les fractures et les failles, les effets de la durée et de l'intensité des précipitations, les différences dans la mobilité spécifique à un contaminant etc. Selon Trojan et Perry (1988) il est théoriquement incorrect de prédire la sensibilité des eaux souterraines en ne tenant compte que de l'évaluation des facteurs hydrogéologiques. En effet la contamination des eaux souterraines, d'après ces auteurs, est le résultat de divers processus physiques, mieux décrits par des équations mathématiques.

En tout état de cause, la méthode DRASTIC donne des résultats relativement bons pour des structures géologiques complexes pour lesquelles il n'y a pas de données géochimiques requises par d'autres méthodes d'analyses (Kalinski *et al.* 1994 ; McLay *et al.* 2001).

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude et généralités

### 1.1 Situation géographique de la plaine alluviale de Karfiguéla

La plaine alluviale de Karfiguéla située dans le bassin hydrographique de la Comoé, se trouve dans la région des Cascades à l'extrême Sud-Ouest du Burkina Faso (figure 1). Avec une superficie estimée à 45,78 km<sup>2</sup> et une longueur de 28 km, elle est localisée entre les longitudes 4°42'0''W et 4°50'0''W et les latitudes 10°28'0''N et 10°44'0''N. La plaine alluviale de Karfiguéla est répartie entre douze (12) villages de la commune de Banfora : Karfiguéla, Tengréla, Nafona, Lémouroudougou, Kribina-Lèna, Tiékouna, Niankar, Bounouna, Kossara, Diarabakoko, Sitiéna et Banfora. Elle est accessible à partir de la capitale du Burkina Faso par la route nationale RN°1 qui relie Ouagadougou à Bobo Dioulasso et par la RN°2 qui relie Bobo-Dioulasso à Banfora et enfin par la piste rurale reliant Banfora à Karfiguéla dont l'accessibilité est difficile pendant la saison des pluies.

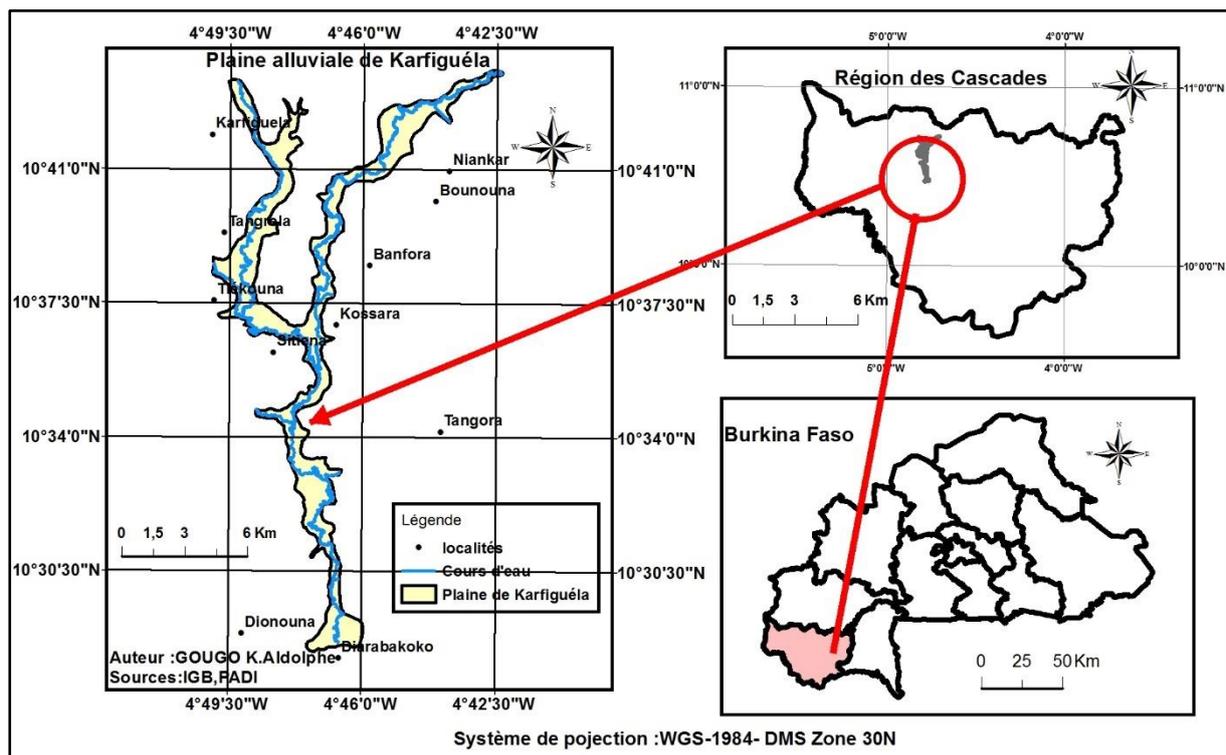


Figure 1: Localisation de la plaine de Karfiguéla, Sources : IGB, PADI BF 101.

## 1.2. Caractéristiques climatiques

La plaine alluviale de Karfiguéla est sous l'influence d'un climat de type sud-soudanien caractérisé par deux saisons dues au Front Inter Tropical : une saison sèche allant d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse allant de Juin à Septembre (Fontès et Guinko, 1995). Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 17°C et 36°C soit une amplitude thermique de 19°C (DGH, 2001).

## 1.3. Géologie et hydrogéologie.

### 1.3.1. Géologie

Cinq (05) formations géologiques sont présentes sur la plaine alluviale de Karfiguéla :

**Les grès de Kawara sindou (60 à 350 m d'épaisseur)** reposent sur le grès inférieur ou directement sur le socle. Cette formation est constituée à sa base de grès quartzites très fins et de grès grossiers au-dessus. Elle est caractérisée par une stratigraphie oblique et la présence d'abondantes rides de vagues (Hugot, 2002) ;

**Les grès inférieurs (50 à 300 m d'épaisseur)** reposent en discordance sur le socle. De la base au sommet la formation est constituée successivement de grès rouges fins, de grès quartzites fins et de grès rouges à débit schisteux (Hugot, 2002) ;

**Les schistes et volcano-sédiments** : Ces roches présentent une certaine complexité. En effet, à l'altération, elles peuvent être difficiles à différencier avec les roches andésitiques schistosées et altérées. Globalement, il s'agit de pélites, de schistes gréseux, de schistes lustrés gris-noir, des schistes tuffacés ainsi que de rares horizons quartzitiques (Ouédraogo, 1998) ;

**Les granodiorites sont des roches grenues, mésocrates à minéraux** relativement riches en ferromagnésiens et feldspaths (Hugot,2002). Elles constituent la majeure partie du socle au niveau de notre site d'étude ;

**Le groupe des Tonalites** : Il comprend un certain nombre de faciès de composition allant de la granodiorite à la tonalite et la diorite quartzifère. Ces roches sont globalement très voisines. Elles sont de grains moyens à grossiers, présentant une fabrique planaire ou une foliation gneissique nette. Localement, un rubanement est associé à la foliation et donne à la roche un aspect de migmatite. Elles sont généralement recoupées par des filons d'aprites ou de pegmatites. Dans ces roches le plagioclase prédomine ; le feldspath potassique, le quartz, l'amphibole et la biotite sont moins abondants (Ouédraogo,1998).

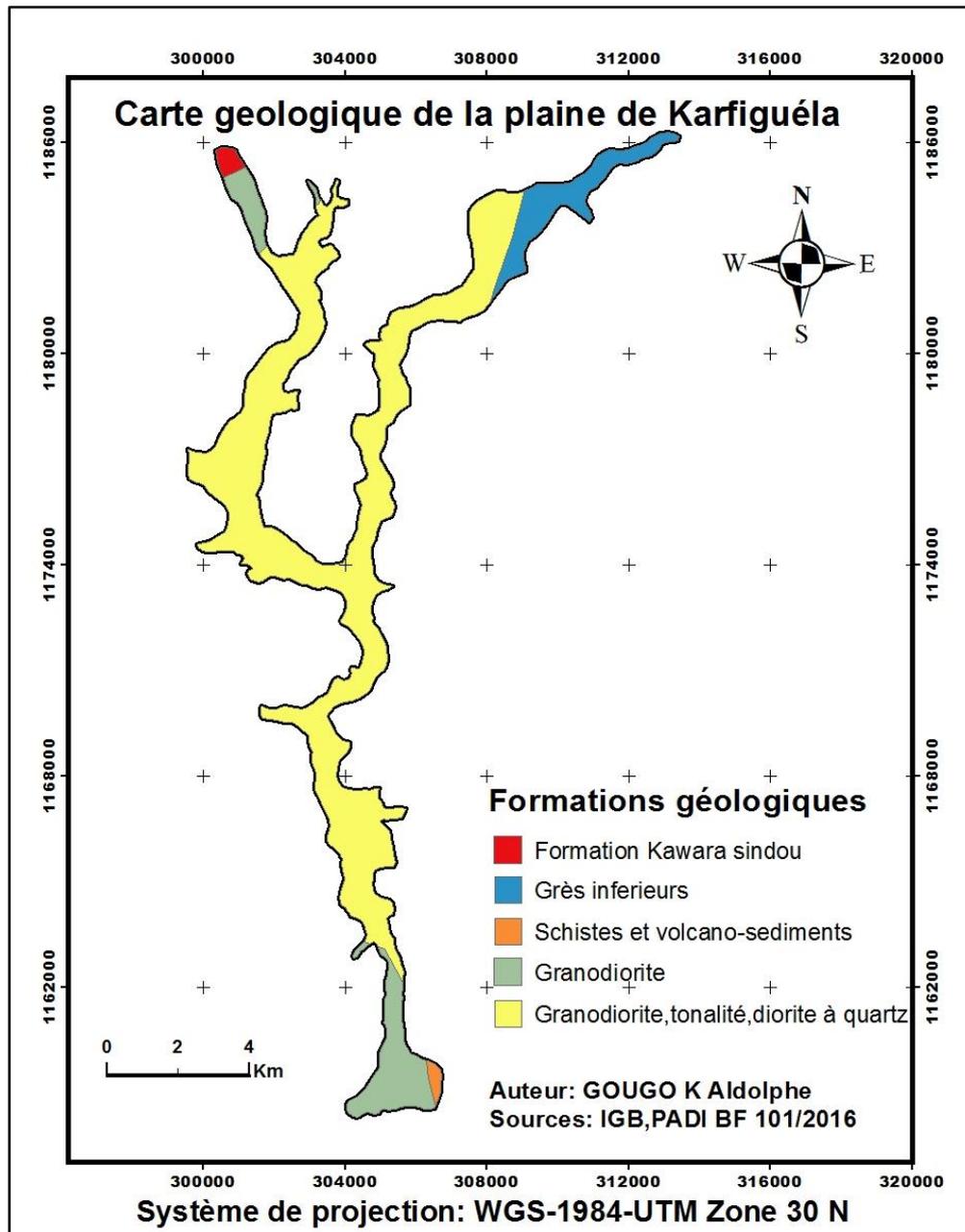


Figure 2 : Formations géologiques de la plaine alluviale de Karfiguéla

### 1.3.2. Hydrogéologie

Le contexte hydrogéologique général du bassin de la Comoé est caractérisé principalement par deux entités :

- l'entité des zones sédimentaires :

Elle est constituée d'une épaisse série de roches essentiellement gréseuses contenant plusieurs niveaux aquifères. Certains niveaux aquifères fournissent des débits très importants de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres cubes par heure (DGH, 2001).

- l'entité des zones de socle :

La zone de socle cristallin est à dominance granitique avec des schistes, des roches vertes et des dolérites. Les débits exploitables sont modestes. Les ressources en eau se situent soit dans la zone altérée et plus ou moins ameublie pour les roches granitiques (arènes), soit dans la roche fracturée (DGH,2001).

Spécifiquement par rapport à l'aquifère alluvial de Karfiguéla, les travaux de tomographie effectués par Haladou (2013) montrent que cet aquifère présente de haut en bas :

- une couche d'alluvions très argileuses avec une épaisseur variant de 20 à 25 mètres ;
- une arène de sable et de gravier d'épaisseur relativement faible (environs 10 mètres) ;
- une couche d'horizons altérés et fissurés dont la base constitue le toit du socle sain. Son épaisseur moyenne est de 7 m sur granite et de 20 m sur métavolcanite et métasédiment.

## **1.4. Sols et végétations**

### **1.4.1. Sols**

Au niveau du bassin de la Comoé dans lequel se situe la plaine alluviale de Karfiguéla, les sols généralement rencontrés sont de quatre types (AEC,2015) :

- les sols kaoliniques de type ferrugineux tropical de couleur rouge ocre, qui assurent un bon drainage ;
- les sols montmorillonitiques de couleur brune sur lesquels le drainage est imparfait ;
- les sols argilo-sableux des bassins sédimentaires plus fréquemment rencontrés à l'Est et au Sud de la région ; ils assurent un drainage moyen ;
- les sols hydromorphes inondés en saison humide.

Au niveau de la plaine alluviale, les sols sont généralement profonds de types ferrugineux tropicaux (PADI, 2013). La diversité de ces sols est sans doute un énorme potentiel pour l'activité agricole dans la zone. Les sols sont en majorité légers et sensibles à l'érosion qui est accélérée par l'action anthropique (les systèmes de productions extensifs ; la coupe abusive du bois, l'occupation anarchique des terres)

### 1.4.2. La végétation

L'importance des précipitations dans le bassin de la Comoé favorise le développement d'espèces ligneuses dont la densité du peuplement, le nombre de strates et la hauteur sont importants. On trouve des forêts galeries le long des rivières où l'écoulement est pérenne et dans les vallées et ravins à humidité permanente. Le nord du bassin est caractérisé par la présence de graminées. C'est le domaine de la forêt claire avec des arbres de taille moyenne. Les espèces les plus rencontrées sont le néré (*Parkia bioglobosa*), le Karité (*Butyrospermum parkii*) et le tamarinier (*Tamarindus indica*). Le tapis herbacé est essentiellement composé de thérophytes dont le cycle végétatif est étroitement lié au cycle pluviométrique (AEC,2015). Toutefois cette végétation connaît une forte dégradation sous l'effet d'actions anthropiques. Cela n'est pas sans conséquence sur les écoulements superficiels.

### 1.5. Hydrologie de surface

La Comoé est le principal cours d'eau du bassin de la Comoé. Il prend sa source à Samogohiri dans la région des Hauts-Bassins sur le plateau gréseux à 6 00 m d'altitude. En descendant les falaises, la Comoé forme les Cascades de Karfiguéla et s'écoule dans une vaste plaine en enrichissant de nombreux affluents tertiaires avant d'être rejointe par la Léraba, son principal affluent, à la frontière Sud du Burkina Faso (AEC, 2015). Le bassin versant de la Comoé couvre une superficie totale estimée à 95 590 km<sup>2</sup> et se répartit très inégalement entre quatre (04) pays comme suit : la Côte d'Ivoire environ 79,29% du bassin, le Burkina Fao 18,39%, le Mali 0,43% et le Ghana 1,98%. Son réseau hydrographique d'une longueur totale estimée à 8 820 km au Burkina Faso, comprend 5 principaux affluents qui sont la Haute-Comoé, la Léraba, le Kodoun, le Baoué et l'Iroungou (VREO, 2010).

## **Chapitre II : Matériel et Méthodes**

Cette partie décrit le matériel et les méthodes utilisés dans l'étude de chacune des thématiques abordées dans le présent rapport.

### **2.1. Inventaire des ouvrages de captage des eaux souterraines**

Cet inventaire avait pour objectif de faire un état des lieux des ouvrages de captage des eaux souterraines et d'identifier ceux pouvant constituer des sources de pollution directe des eaux souterraines. Par ailleurs il s'inscrivait également dans le cadre des activités de suivi du réseau piézométrique de la plaine mis en place le PADI.

#### **2.1.1. Matériel**

Le matériel utilisé était constitué :

- d'un GPS pour la prise de coordonnées géographiques des ouvrages recensés sur la plaine ;
- d'une sonde piézométrique lumineuse pour la mesure des niveaux statiques ;
- d'un bloc-notes pour l'enregistrement des niveaux statiques ;
- du logiciel Arcgis 10.1 pour la spatialisation des ouvrages recensés.

#### **2.1.2. Méthode**

L'inventaire des ouvrages de captage des eaux souterraines de la plaine de Karfiguéla a été effectué selon la méthode suivante :

- ✓ recensement de tous les puits maraîchers, des micropiédomètres et des piézomètres repartis sur la plaine ;
- ✓ vérification de l'intégrité physique des ouvrages afin d'identifier ceux pouvant constituer des sources de pollution ;
- ✓ mesures des niveaux piézométriques

## **2.2. Caractérisation des intrants agricoles**

L'inventaire des intrants agricoles a été faite sous forme d'enquête. Cet inventaire s'apparente à une étude de type descriptif qui vient en prélude aux activités de recherche des résidus de pesticides dans les ressources en eaux et éventuellement dans les produits alimentaires cultivés sur la plaine. A cet effet l'objectif principal de l'inventaire visait à identifier les différents types de pesticides et de fertilisants utilisés sur la plaine de Karfiguéla. Les données collectées ont

permis de caractériser les pesticides par rapport à leurs matières actives, leurs familles chimiques, leur classe de toxicité et leur statut d'homologation, etc.

### **2.2.1. Matériel**

Le matériel utilisé pour l'inventaire des intrants agricoles était constitué :

- d'une fiche d'enquête (Annexe5) pour la collecte des données auprès des producteurs de la plaine ;
- la liste des pesticides homologués par le Comité Sahélien des Pesticides de mai 2015. Elle a été utilisée pour déceler les pesticides obsolètes et non homologués ;
- les logiciels Excel 2016 et SPSS pour le traitement statistique des données collectées.

### **2.2.2. Méthode**

La méthodologie adoptée dans le cadre de l'inventaire des intrants agricoles est structurée autour des points suivants :

#### **2.2.2.1. Recherche documentaire**

Cette étape a été consacrée à la collecte, à l'analyse et à la synthèse de la documentation disponible et qui est en lien avec les thématiques relatives aux produits phytosanitaires, aux fertilisants et aux méthodes d'échantillonnage. Les investigations ainsi effectuées ont permis d'actualiser nos connaissances pour mener à bien les activités sur le terrain. Les pesticides recensés sur la plaine ont donc été caractérisés sur la base des données bibliographiques disponibles relatives à leur comportement (mobilité, persistance, toxicité des matières actives). Ces données bibliographiques ont permis d'avoir une estimation à priori du risque de contamination des eaux souterraines et contribuera à la mise en place d'un protocole optimisé pour la recherche des pesticides dans les zones les plus vulnérables de la plaine.

#### **2.2.2.2. Echantillonnage**

Étant donné que nous ne disposions pas de liste de l'ensemble des producteurs de la plaine alluviale de Karfiguéla, nous avons procédé par la technique d'échantillonnage dite par "réseau" tel que décrite par Fortin (2008). Les individus sont sélectionnés en fonction de leurs liens avec un « noyau » d'individus (réseaux sociaux, les amitiés, les relations d'affaires, etc.). Les producteurs retenus sont ceux qui répondaient aux critères suivants :

- être volontaire et disposé à répondre aux questions posées ;
- avoir un périmètre irrigué sur la plaine alluviale de Karfiguéla.

### **2.2.2.3. Enquête**

L'enquête s'est déroulée pendant les mois de mai, de juin et juillet et a pris au total 15 jours. L'enquête a concerné les maraîchers de la plaine de Karfiguéla. Les localités ciblées ont été celles de Tengréla, Kribina, Diarrabakoko et Karfiguéla. Les données ont été collectées à travers une fiche d'enquête élaborée à cet effet (Annexe 5). Cette fiche est constituée de six (06) sections avec quatorze (14) questions (fermées ou ouvertes). Les informations recueillies se rapportent aux caractéristiques sociodémographiques, aux superficies emblavées, aux spéculations végétales produites, aux types d'intrants agricoles utilisés dans la gestion des ravageurs et de la fertilité des sols, etc.

Les difficultés rencontrées lors de l'enquête se résument comme suit :

- le refus de certains producteurs de répondre aux questions ou de fournir l'exhaustivité des informations par crainte d'une sanction en cas d'utilisation de produits non autorisés. Par ailleurs d'autres producteurs ont affirmé être très occupés par les travaux champêtres et ne se sont donc pas prêtés à notre questionnaire ;
- l'incapacité de certains producteurs à identifier les pesticides qu'ils utilisent du fait de leur analphabétisme ;
- l'installation de la saison des pluies rendant difficile l'accès à certains sites ;
- le lessivage des étiquettes des pesticides par la pluie rendant impossible l'identification de ces derniers.

### **2.2.2.4. Analyse des données**

Les données collectées ont été saisies sur Excel 2016 et importées sur le logiciel SPSS pour traitement. Le traitement des données à travers ces logiciels a permis de mettre en évidence les fréquences d'utilisation des variables étudiées (types de pesticides, d'engrais, classe de toxicité, etc.).

## **2.3. Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution agricole par la méthode DRASTIC**

La méthode DRASTIC est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque d'un système hydrogéologique. Cette vulnérabilité est qualifiée d'intrinsèque car elle prend en compte de la capacité d'auto-défense du système face à un contaminant grâce à l'action combinée des propriétés spécifiques dudit système. Ces propriétés intrinsèques au système sont liées à sept (07) paramètres hydrogéologiques qui conditionnent la migration et l'atténuation

d'un polluant au sein d'un complexe sol-zone aérée-aquifère (Mohamed,2001). Ces sept paramètres sont :

**D** : Profondeur à la nappe ;

**R** : Recharge ;

**A** : Lithologie de l'Aquifère ;

**S** : Type de Sol ;

**T** : Topographie du milieu (pente) ;

**I** : Impact de la zone non saturée ;

**C** : Conductivité Hydraulique

### **2.3.1. Matériel**

La caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque de la plaine à la pollution a nécessité l'utilisation du matériel suivant :

- la base de données du PADI qui permis de disposer des niveaux statiques moyens de quatre cycles hydrologiques (2013 - 2016) du réseau piézométrique de la plaine ;
- des logs de forages qui ont été utilisés pour la caractérisation de la lithologie des aquifères, des zones non saturées et des sols au voisinage des piézomètres existant sur la plaine ;
- le logiciel Arcgis 10.1 qui a servi à la spatialisé et à l'interpolation des données hydrogéologiques traitées.

### **2.3.2. Méthode**

#### **2.3.2.1. Hypothèses**

La méthode DRASTIC est une méthode à cotation empirique qui repose sur les hypothèses suivantes :

- le territoire d'application de la méthode couvre plus de 0,4 km<sup>2</sup> ;
- la source de contamination potentielle se situe en surface ;
- les contaminants potentiels migrent de la surface du sol et atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace ;
- la nature du contaminant n'est pas prise en compte dans le calcul de l'indice DRASTIC.

### 2.3.2.2. Evaluation des paramètres DRASTIC

L'importance relative d'un paramètre dans l'estimation de la vulnérabilité intrinsèque du système hydrogéologique est désignée par une valeur fixe qu'on appelle poids (Tableau I). Le poids associé à un paramètre varie de 1 à 5. Plus le poids est élevé plus l'importance accordée au paramètre est significative dans le processus de transport et d'atténuation des contaminants.

**Tableau I : Poids des paramètres DRASTIC (Aller et al.,1987)**

Paramètres		Facteurs de pondération généraux	Facteurs de pondération pour pesticides
<b>D</b>	Profondeur à la nappe	5	5
<b>R</b>	Recharge nette	4	4
<b>A</b>	Formations de l'aquifère	3	3
<b>S</b>	Types de sol	2	5
<b>T</b>	Topographie du milieu (pente)	1	3
<b>I</b>	Impact des formations de la zone non saturée	5	4
<b>C</b>	Conductivité hydraulique de l'aquifère	3	2

Par ailleurs, à chaque paramètre on associe également une cote variant de 1 à 10 en fonction des intervalles de valeurs définis. De façon pratique pour définir la vulnérabilité d'un paramètre celui-ci est discrétisé en intervalles ou classes de valeurs auxquelles on affecte une cote. Un paramètre est d'autant plus vulnérable pour une classe donnée que la cote attribuée à cette classe est élevée. Inversement, pour des classes moins vulnérables des cotes relativement faibles sont attribuées. Pour chaque paramètre nous avons élaboré une carte paramétrique en se basant sur leurs indices partiels ; l'indice partiel étant le produit de la cote et du poids assignés à chaque classe du paramètre considéré. L'élaboration de chaque carte paramétrique est décrite dans les lignes qui suivent.

#### Paramètre D

Le paramètre « D » a été évalué à partir des niveaux statiques mesurés sur soixante-neuf (69) micropiézomètres repartis sur la plaine. Les niveaux piézométriques moyens des années 2013 à 2016 (Annexe 12) ont été considérés à cet effet. L'interpolation des niveaux statiques des micropiézomètres a été faite avec l'outil « IDW » de Arcgis 10.1. Les valeurs interpolées ont été reclassifiées en fonction des classes d'intervalles du paramètre « D » définies dans le tableau II. La reclassification est faite avec l'outil « reclassify » incorporé sous Arcgis 10.1. Ainsi des

cotes ont été affectées aux nouvelles classes générées selon le système de cotation décrit par Murat et Paradis (2003). Ces cotes qui ont été multipliées par le poids fixe du paramètre  $Dw=5$  (Tableau I). Le résultat de cet opération ( $Dr \cdot Dw$  où  $Dr$  et  $Dw$  représentent respectivement la cote et le poids du paramètre  $D$ ) donne des indices partiels de vulnérabilité du paramètre «  $D$  ». La spatialisation de ces indices partiels génère une carte de vulnérabilité des indices partiels du paramètre  $D$ .

La même démarche a été effectuée pour les six autres paramètres ( $R, A, S, T, I, C$ )

**Tableau II : Cotes selon les classes de profondeur (Murat et al.,2003)**

Classes de D (m)	Cotes
0 à 1,5	10
1,5 à 4,5	9
4,5 à 9,0	7
9,0 à 15,0	5
15,0 à 23,0	3
23,0 à 31,0	2
31,0 et plus	1

#### Paramètre R

L'interpolation de ce paramètre a été faite en considérant la valeur de la recharge déterminée par DAO (2015) à travers la méthode de Thornthwaite. Cette recharge a été estimée à 40,539 mm/an pour toute la plaine. Le système de cotation retenu est également celui de Murat et al., (2003) (Tableau III)

**Tableau III : Cotes selon le niveau de la recharge en cm (Murat et al.,2003)**

Intervalles (cm)	Cotes
0 à 5	1
5 à 10	3
10 à 18	6
18 à 25	8
25 et plus	9

#### Paramètre A

L'évaluation de ce paramètre dans la méthode DRASTIC peut se faire en tenant compte des porosités primaires et secondaires, ainsi que de la granulométrie des grains. L'identification du paramètre «  $A$  » a été faite à partir des logs de forages en considérant les lithologies au niveau

des venues d'eau. Les cotes ont été attribuées aux classes lithologiques mises en évidence selon le système de cotation défini par Murat et *al.*,2003 (Tableau IV).

L'interpolation des différents matériaux de l'aquifère a été faite sur la base de leur perméabilité (Annexe 10).

**Tableau IV : Cotes selon le type d'aquifère (Murat et *al.*, 2003)**

Types d'aquifère	Cotes	Cotes types
Roche ignée/ métamorphique	2-5	3
Roche ignée/ métamorphique altérée	3-5	4
Lits de grès, calcaire et shale	5-9	6
Grès massif	4-9	6
Calcaire massif	4-9	6
Sable et gravier	4-9	8
Calcaire karstique	9-10	10

#### Paramètre S

Le paramètre « S » correspond à la première couche de la zone non saturée traversée par les eaux de surface lors de l'infiltration. L'interpolation du paramètre « sol » a été faite sur la base de la perméabilité des différents matériaux lithologiques en présence. L'identification de nature des sols a été faite au moyen des logs de forages. Pour ce faire, nous avons considéré comme sol tout matériau situé à 50 cm en dessous de la surface du terrain naturel. Cette profondeur correspond à la zone racinaire de la plupart des cultures maraîchères de la plaine (choux, tomates, piments, etc.). Le système de cotation adopté est celui défini par celui par Murat et *al.*, 2003 (Tableau V). En absence de correspondance entre une unité lithologique existant sur la plaine et celles définies dans le tableau V, une cote est attribuée par déduction. Par ailleurs lorsqu'on est en présence d'une stratification de plusieurs types de sol, le type le plus dominant (majoritaire) est retenu comme représentant l'ensemble.

**Tableau V : Cotes selon la nature des sols (Murat et *al.*,2003)**

Nature des sols	Cotes
Sol mince ou roc	10
Gravier	10
Sable	9
Tourbe (matériaux organiques)	8
Limon sableux	6
Limon	5
Limon argileux	3
Terre noire	2
Argile intacte	1

### Paramètre T

Le paramètre topographie (T) est représenté dans la méthode DRASTIC par les valeurs de la pente en pourcentage.

Les pentes ont été générées avec l'outil « slope » de Arcgis à partir des altitudes des micropiézomètres fournies par DGPS. Le système de classification adopté est celui de Murat et *al.*,2003 (Tableau VI).

**Tableau VI : Cotes selon la pente (Murat et *al.*,2003)**

Classes des pentes (%)	Cotes
0-2	10
2-6	9
6-12	5

### Paramètre « I »

Le paramètre « I » représente la zone non saturée située entre le sol et la nappe phréatique. Son impact est déterminé par la lithologie des terrains qui la constitue.

Ce paramètre a été évalué de la même manière que les paramètres A et S. La cotation de ce paramètre est faite selon le tableau VII.

**Tableau VII : Cotes selon la nature de la zone non saturée (Murat et *al.*,2003)**

Nature de la zone non saturée	Cotes	Cotes types
Silt/argile	2-6	3
Calcaire	2-7	6
Grès	4-8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4-8	6
Roche ignée/ métamorphique	2-8	4
Sable et gravier	6-9	8

### Paramètre C

La conductivité hydraulique de la couche aquifère donne une indication sur la vitesse de migration des polluants. Plus ce paramètre est grand plus le transfert des polluants est rapide. Les valeurs des conductivités hydrauliques utilisées (Annexe 12) ont été obtenues à partir des résultats de slug test des travaux de Bétan. (2014).

Les cotes ont été attribuées en fonction du système de cotation défini dans le tableau VIII.

**Tableau VIII : Cotes selon la conductivité hydraulique (Murat et al.,2003)**

Classes de conductivité hydrauliques (m/s)	Cotes
$1.5.10^{-7}$ - $5.10^{-5}$	1
$5.10^{-5}$ - $15.10^{-5}$	2
$15.10^{-5}$ - $33.10^{-5}$	4
$33.10^{-5}$ - $5.10^{-4}$	6
$5.10^{-4}$ - $9.5.10^{-4}$	8
$>9.5.10^{-4}$	10

### 2.3.2.3. Carte de vulnérabilité DRASTIC

La vulnérabilité globale est évaluée par un indice obtenu à partir de la sommation des indices partiels des sept (07) paramètres hydrogéologiques décrits ci-dessus. L'indice DRASTIC global est obtenu à partir de la formule suivante :

**Indice DRASTIC :  $D_w D_r + R_w R_r + A_w A_r + S_w S_r + T_w T_r + I_w I_r + C_w C_r$**

**R** : rating (cote)

**W** : weight (poids)

La combinaison des indices partiels est obtenue avec l'outil « Plus » incorporé dans sous Arcgis 10.1.

Plus la vulnérabilité est élevée plus son indice est élevé. Il faut noter que cet indice est une mesure relative de la vulnérabilité.

En fonction des classes de valeur de l'indice global, des degrés de vulnérabilité ont été définis par Aller et al. ; 1987 (Tableau IX) :

**Tableau IX : Classification des indices DRASTIC (Aller et al. ;1987)**

Vulnérabilité	Indice DRASTIC
Très faible	23 - 80
Faible	80 - 100
Moyenne	100 - 140
Forte	140 - 180
Très élevée	180 - 226

### 2.3.2.4. Validation de la carte de vulnérabilité

Plusieurs auteurs ont testé la validité des cartes de vulnérabilité par des mesures et l'analyse de données chimiques des eaux souterraines (Isabel et al. (1990) ; Mohamed (2001) ; Jourda et al., (2006) ; Kouamé (2007)). Le principe de la validation des cartes de vulnérabilité est basé sur le fait que les zones réellement contaminées doivent correspondre à celles où les indices de vulnérabilité sont les plus élevés. Dans le cadre de la présente étude, la validité de la carte de

vulnérabilité à la pollution agricole de la plaine de Karfiguéla a été testée en établissant une comparaison entre la répartition spatiale des nitrates dans les eaux souterraines et la distribution des classes de vulnérabilité. Pour ce faire, les teneurs en nitrate de huit (08) piézomètres ont été considérées. Ces piézomètres ont été projetés sur la carte de vulnérabilité. Ainsi un taux de coïncidence a été calculé en faisant le ratio entre le nombre de piézomètre dont le niveau de pollution azotée est en cohérence avec le niveau de vulnérabilité sur le nombre total de piézomètres échantillonnés. En rappel l'analyse des échantillons a été effectuée par l'ONEA en 2012.

## Chapitre III : Résultats et discussions

### 3.1. Inventaire des ouvrages de captage des eaux souterraines

La situation des ouvrages de captage des eaux souterraines à l'issue de notre inventaire se présente comme suit (Figure 3) :

- ✓ 69 micropiézo-mètres ;
- ✓ 5 piézomètres ;
- ✓ 3 puits maraîchers.

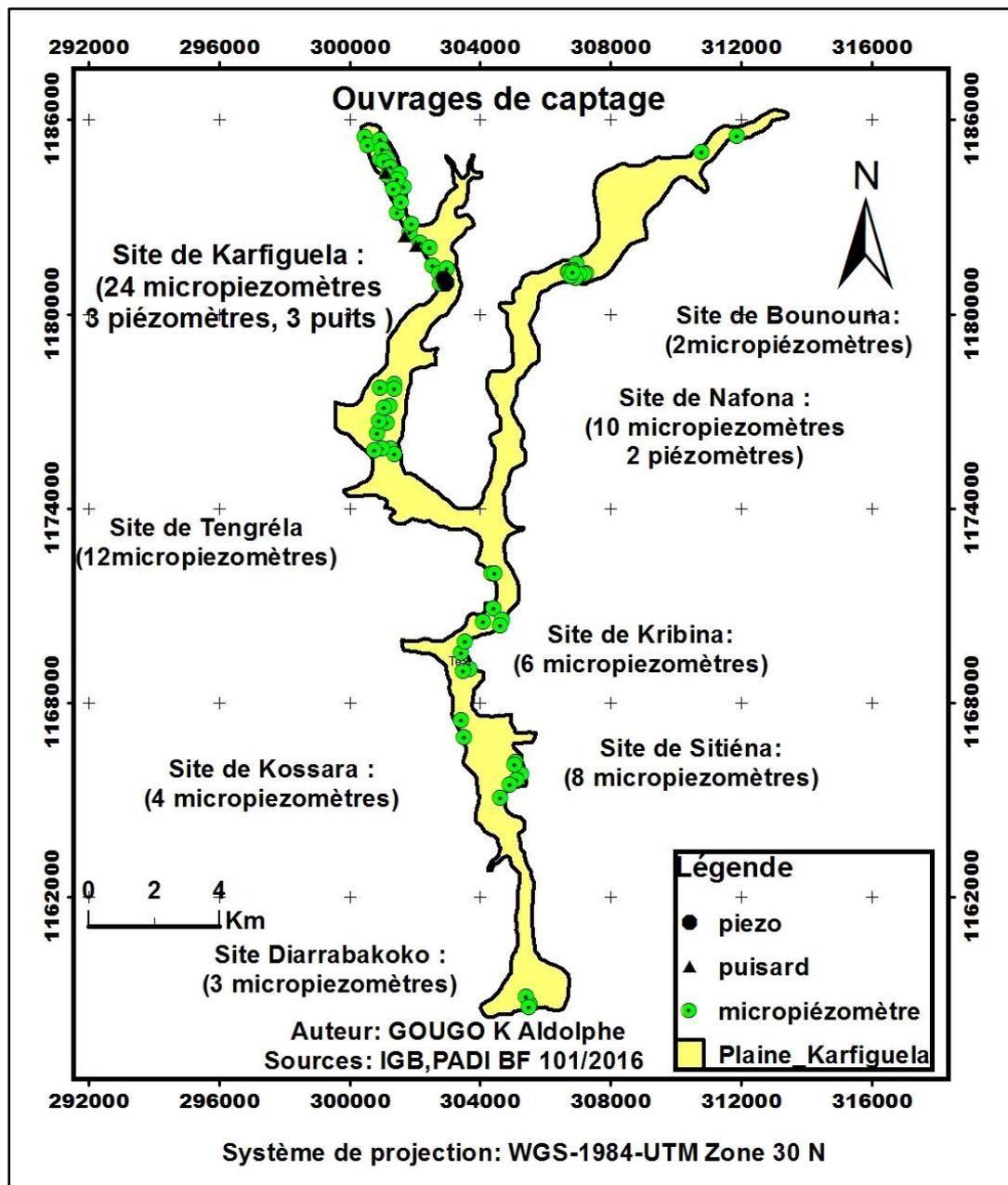


Figure 3 : Répartition des ouvrages de captage des eaux souterraines

Le nombre de puisards est très faible et ce, malgré les potentialités importantes des ressources en eaux souterraines de la plaine. En effet les études de DAO (2015) rapportent que le volume annuel de la réserve exploitable des eaux souterraines de la plaine est 13 310 875 m<sup>3</sup> avec un taux d'exploitation assez faible de 10,62%. Le faible recours à la mobilisation des eaux souterraines pour les besoins agricoles trouve sa justification dans le fait que la grande majorité des maraîchers a tendance à s'approcher des berges de la rivière Comoé afin de faciliter leur approvisionnement en eau. A ce titre, selon l'AEC (2015) 77,16% des exploitations agricoles sont situées dans la bande de servitude c'est à moins de 100 m des berges du cours d'eau (Annexe 8). L'occupation de la bande de servitude peut provoquer l'envasement du cours d'eau et même la pollution des eaux de surface. De plus il faut noter que les puits ne sont équipés d'aucun dispositif de protection (ni margelle ni couvercle) et constituent par conséquent des sources potentielles de pollution directe de la nappe d'eau souterraine.

### 3.2. Inventaires des intrants agricoles

#### 3.2.1. Population de l'enquête

Au total 100 producteurs ont été sondés dont 12 femmes et 88 hommes. La structure de l'échantillon montre que 20% des producteurs ont reçu une éducation formelle contre 80 % de la population qui ne sont pas alphabétisées (Tableau X). La grande majorité des terres emblavées (86,3%) appartiennent aux hommes et 13,7% des superficies emblavées sont possédées par les femmes.

**Tableau X : Structure de l'échantillon**

Sexe	Effectif	Scolarité		Superficies emblavées (ha)/sexe
		Oui	Non	
F	12	3	9	9,95
H	88	17	71	62,45
TOTAL	100	20	80	72,4

L'échantillon de notre étude est caractérisé par une population majoritairement constituée d'hommes avec un faible pourcentage de femmes. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait qu'au niveau de notre zone d'étude, l'organisation sociale oriente davantage les femmes vers les activités domestiques, les activités de récoltes et de commercialisation des produits agricoles.

La plaine alluviale de Karfiguéla est caractérisée par un taux élevé d'illettrisme. Seulement 20% de l'échantillon a reçu une éducation formelle contre 80% qui ne sont pas alphabétisés. Les mêmes résultats ont été rapportés par Ouédraogo et *al.*, 2009 au Burkina Faso et par Fayomi et *al.* (1998) au Bénin qui ont confirmé le faible niveau d'alphabétisme dans les périmètres irrigués. Cet état de fait constitue un handicap pour une utilisation rationnelle des produits phytosanitaires. En effet selon Kanda (2011) ; Badiane (2004), Wade (2003) le faible taux d'instruction limite fortement les connaissances sur les pesticides notamment sur les modes d'application, les rémanences, le respect des délais de carence ainsi que les précautions à prendre au moment des traitements.

### 3.2.2. Engrais utilisés sur la plaine alluviale de Karfiguéla

L'enquête nous a permis de révéler l'usage de trois types d'engrais sur la plaine alluviale à savoir le NPK, l'urée, et la fumure organique. On note une utilisation dominante de la fumure organique (77%) sur les autres fertilisants (NPK 13%, Urée 10%) (Tableau XI)

**Tableau XI : Répartition des différents types de fertilisants**

Fertilisants	Quantité (Kg)	Pourcentage (%)
Fumure	56300	77
NKP	9275	13
Urée	7425	10

De l'examen du tableau XI nous pouvons dire que de façon générale, deux types de fertilisants sont utilisés sur la plaine à savoir les fertilisants chimiques et organiques. Par ailleurs, l'enquête nous a permis de constater que l'application de la fumure organique est systématique quel que soit le type de spéculature mis en place. L'application dominante de la fumure organique peut s'expliquer par le fait que l'élevage est bien pratiqué dans les zones enquêtées et est, dans la plupart des cas, associé aux activités agricoles. En outre il faut noter que le coût relativement élevé des fertilisants chimiques peut constituer un facteur limitant à leur usage. En tout état de cause l'utilisation combinée des fertilisants chimiques (engrais minéraux) et organiques amoindrit le risque d'acidification du sol donnant ainsi lieu à des systèmes de production productifs et durables (Lompo., 2005). D'un autre côté, l'utilisation de la matière organique

apporte du carbone organique pour l'activité des microorganismes qui ensuite participent à la dégradation des pesticides (Wu et al., 1997).

### 3.2.3. Pesticides utilisés sur la plaine alluviale de Karfiguéla

Cette partie a pour but de montrer les différents produits phytosanitaires utilisés sur la plaine alluviale de Karfiguéla (Annexe 15). Au total trente et une (31) spécialités commerciales de pesticides ont été recensées ayant soit une action insecticide, herbicide ou fongicide. Les classes de toxicité enregistrées sont les classes II, III, et U. Dans la suite de notre travail une analyse statistique a été faite pour déterminer les fréquences d'utilisation de certaines variables (types de pesticides, classes de toxicités, familles chimiques).

#### 3.2.3.1. Répartition globale par type de pesticide

282 pesticides ont été inventoriés sur le terrain et sont constitués par ordre d'importance de 57,1% d'insecticides, 41,5% d'herbicides et de 1,4% de fongicides (figure 3). Les insecticides sont les plus utilisés (57,1%) ensuite viennent les herbicides (41,5%). On note une utilisation très marginale des fongicides (1,4%). La disponibilité de la main d'œuvre locale pour les travaux de désherbage manuel des sols rendus faciles par la faiblesse des superficies pourrait expliquer en partie, le fait que les herbicides soient moins utilisés que les insecticides.

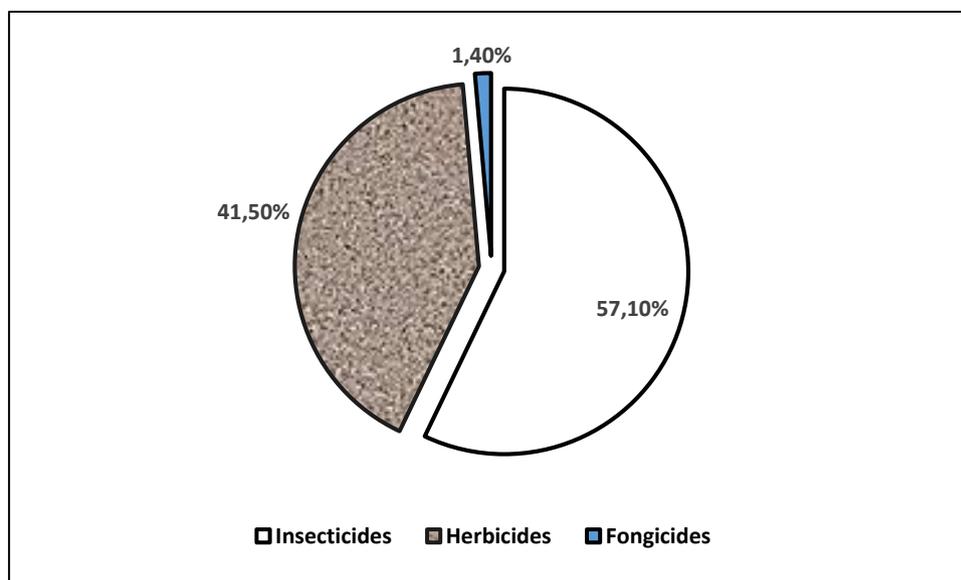


Figure 4 : Répartition des types de pesticides

#### 3.2.3.2. Répartition par type de classe de toxicité

Les pesticides ont été classés par l'OMS en classe de toxicité et ce en fonction du danger qu'ils représentent (Annexe 3). Il s'agit de :

- ✓ la classe Ia (extrêmement dangereux) ;
- ✓ la classe Ib (très dangereux) ;
- ✓ la classe II (modérément dangereux) ;
- ✓ la classe III (légèrement dangereux) et
- ✓ la classe U (Non connu comme présentant un danger aigu).

Dans notre échantillon la classe II est majoritairement représentée (49,6% des pesticides) ; elle est secondée par la classe III (47,2% des pesticides) ; la classe U est très marginale avec un pourcentage de 3,2% des pesticides.

En croisant les différents types de pesticides avec les classes de toxicité on obtient la structuration suivante (Figure 5) :

- la classe II, elle est constituée en fréquences absolues de 04 fongicides , 117 herbicides et de 19 insecticides ;
- la classe III : est composée exclusivement de (133) insecticides ;
- la classe U : 9 insecticides.

Pour les classes de toxicité mises en évidence par notre enquête, l’OMS recommande que l’usage de ces catégories de produits soit réservé aux traiteurs entraînés, et qui respectent les précautions prescrites. Au regard du taux élevé d’analphabétisme constaté sur la plaine on peut dire que les risque sanitaires et environnementaux sont bien réels.

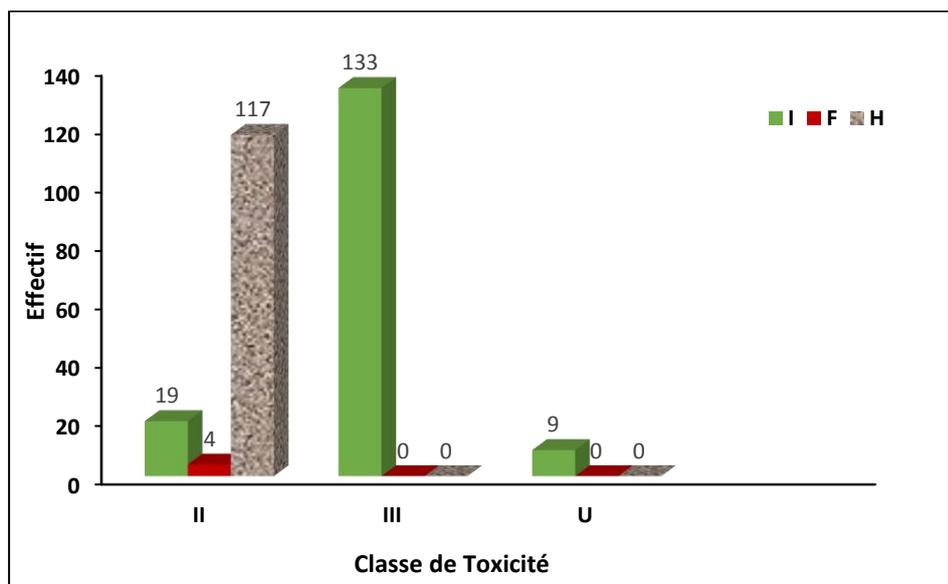


Figure 5 : Répartition des pesticides par classe de toxicité

### 3.2.3.3. Homologation

A ce niveau les résultats montrent une répartition assez homogène avec 144 pesticides homologués (51%) contre 138 non autorisés (49%) (Tableau 6). Sur les 138 produits phytosanitaires non autorisés on a 16 non homologués et 122 obsolètes.

Parmi les formulations commerciales prohibées on a : Coga, Ecocady, Glyphader 360 SL, Glyphader 75 SG, Gramoquat, K-Optimal, Kart 500SP, Pacha 25 EC, Savahaler.

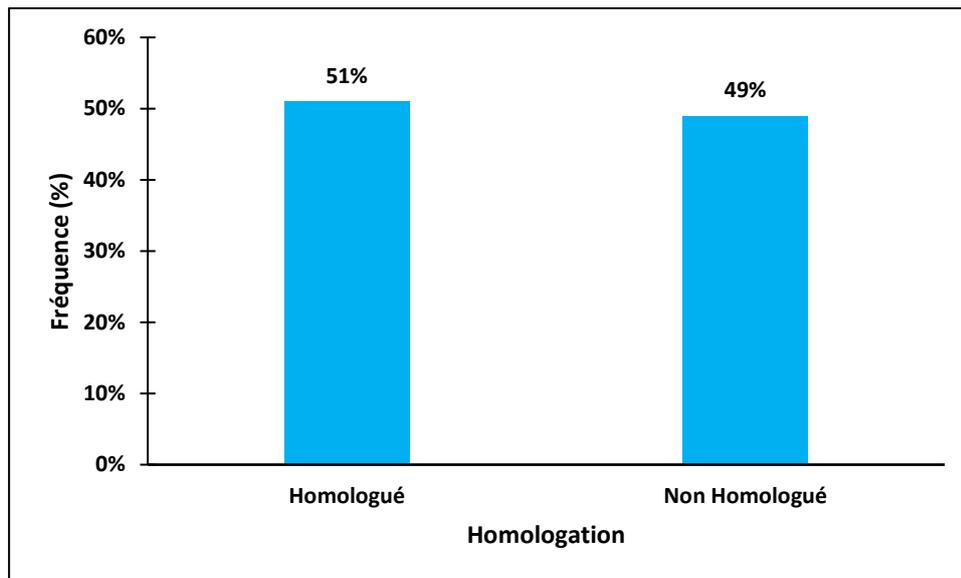


Figure 6 : Répartition du statut d'homologation

### 3.2.3.4. Familles chimiques

L'identification des familles chimiques a été faite en considérant celles qui sont les plus dominantes dans les différentes formulations commerciales. Par exemple EMIR FORT 104 EC a deux matières actives la Cyperméthrine (72g/l) et l'Acetamipride (32g/l) appartenant respectivement à la famille des pyréthrinoïdes et des néonicotinoïdes. La spécialité commerciale EMIR FORT 104 EC se trouve ainsi appartenir à deux familles distinctes. Pour lever cette contrainte nous retenons la famille des pyréthrinoïdes dont la matière active est la Cyperméthrine (72g/l). Ainsi 15 familles chimiques ont été mises en évidence avec une utilisation dominante de la famille des pyréthrinoïdes (28,7%) (Figure 7).

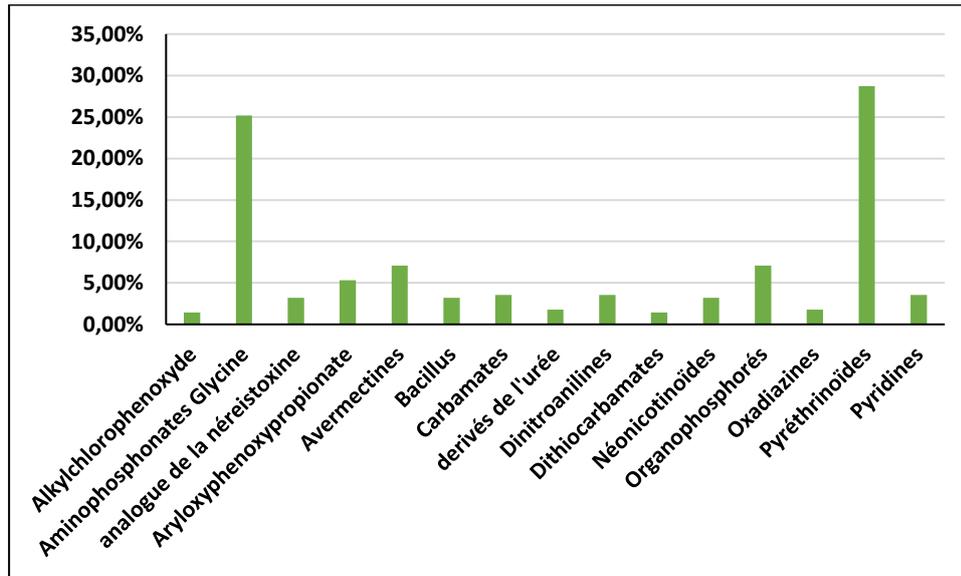


Figure 7 : Répartition des familles chimiques

### 3.2.3.5. Matières actives

Au total dix-huit (18) matières actives sont utilisées sur la plaine de Karfiguéla avec une fréquence d'utilisation assez dominante du glyphosate (25,2%) suivi de la Deltaméthrine (12,1%) (Figure 8).

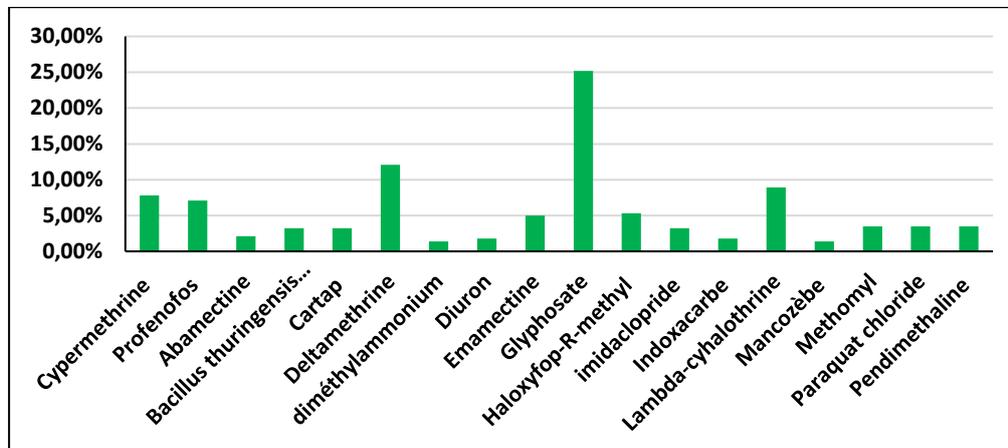


Figure 8 : Répartition des matières actives

Cependant ces deux matières actives sont moins persistantes dans l'environnement car elles sont caractérisées par un DT50 inférieur à 36 jours. La solubilité du Glyphosate est très élevée (10500 mg/l) ce qui pourrait faciliter sa migration vers les eaux souterraines. L'examen des paramètres physico-chimiques (Annexe 7) montrent des valeurs de l'indicateur GUS comprises entre 1,8 et 2,8 pour le Diuron, l'Imidaclopride, la Mancozèbe et le Methomyl. De ce fait la probabilité de trouver ces matières actives dans les eaux souterraines de la plaine est élevée.

### 3.2.3.6. Domaine d'application

Le domaine d'application d'un pesticide représente l'ensemble des spéculations que le produit est sensé traiter. L'objectif de cette partie est de faire ressortir si l'application des pesticides sur la plaine se fait conformément aux domaines d'application de ceux-ci. Les premiers résultats de notre analyse montrent à ce niveau que sur l'ensemble des pesticides inventoriés 74,5% sont utilisés conformément à leur domaine d'application (cultures maraîchères) contre 25,5% dont l'usage est contre-indiqué pour la plaine (cette portion est destinée au cotonnier). Par ailleurs avec la prise en compte du statut d'homologation des pesticides, donne les résultats :

- ✓ 51,1% de pesticides conformes et homologués
- ✓ 48,9% de pesticides sont prohibés et non conformes.

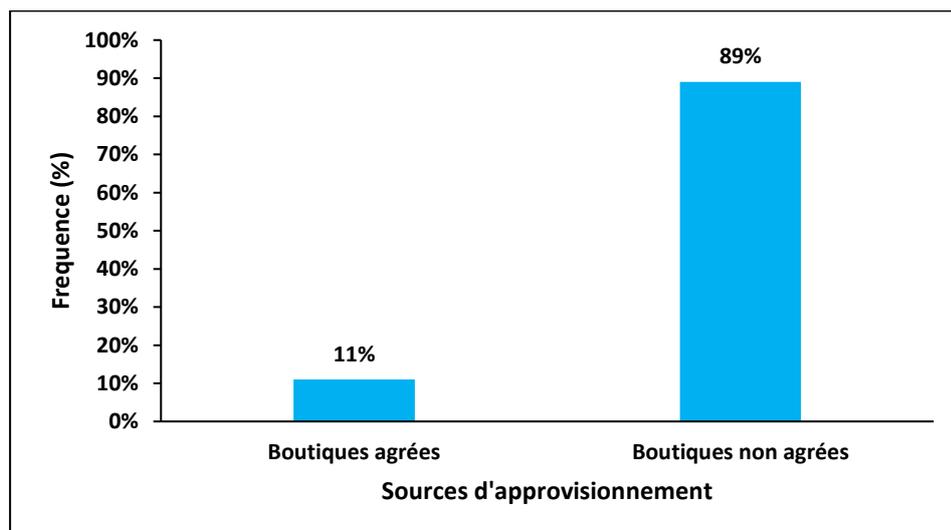
**Tableau XII : Domaine d'application.**

Domaine d'application	Homologation			Total
	Non homologué	Obsolète	Homologué	
Cultures Maraichères	16	50	144	210
Cotonnier	0	72	0	72
Total	16	122	144	282

L'analyse des données a permis d'établir que 25,5% de l'ensemble des produits phytosanitaires appliqués sur la plaine sont recommandés dans le traitement du cotonnier mais sont pourtant utilisés sur les cultures maraîchères ; ces mauvaises pratiques agricoles constituent une menace pour la santé des consommateurs et le cheptel. En effet les travaux de Nébié *et al.* 2002 concluaient à la présence de fortes concentrations de cyperméthrine (1 à 100mg.kg<sup>-1</sup> de MS) et de Deltametrine (12 à 146 mg.kg<sup>-1</sup> de MS) à l'issue de l'analyse de divers échantillons de fruits et légumes traités par les pesticides de cotonnier.

### 3.2.3.7. Source d'approvisionnement

La grande majorité des producteurs (89%) s'approvisionnement sur le marché local auprès des revendeurs non agréés contre seulement 11% des producteurs qui s'approvisionnement dans les boutiques agréées (Figure 9)



**Figure 9 : Sources d'approvisionnement**

Concernant les sources d'approvisionnement des producteurs, nous pouvons affirmer que la majorité des maraîchers s'approvisionnent chez les revendeurs, dans des boutiques non agréées. Malgré l'existence des coopératives agricoles, aucun mécanisme d'approvisionnement en produits phytosanitaires n'existe sur la plaine. Ainsi les producteurs s'approvisionnent de façon indépendante. Cette situation expliquerait en partie le recours des producteurs aux revendeurs de pesticides ce qui accroît les risques d'utilisation de produits obsolètes ou non homologués. La faiblesse des coûts pratiqués dans les boutiques non agréées peut constituer également un facteur favorisant l'engouement des producteurs pour les revendeurs.

### **3.2.3.8. Gestion des déchets phytosanitaires sur la plaine**

La gestion des déchets phytosanitaires (emballages vides) sur la plaine se fait selon quatre (04) modalités dans les proportions suivantes :

- le brûlage/incinération des déchets effectué par 32% des producteurs ;
- l'abandon des emballages dans la nature (brousse, périmètre...etc.) concerne 36% des producteurs ;
- la réutilisation des emballages vides est pratiquée par 7% des producteurs et enfin
- 25% des producteurs procèdent à l'enfouissement (Figure 10).

Des résultats similaires ont été rapportés dans les études de Ouédraogo et al. (2009) ; Devez (2004) qui rapportent la pratique de ces modes de gestions dans les périmètres agricoles. Ces méthodes de gestion constituent un risque de santé pour les producteurs, les enfants, les animaux et pour l'environnement.

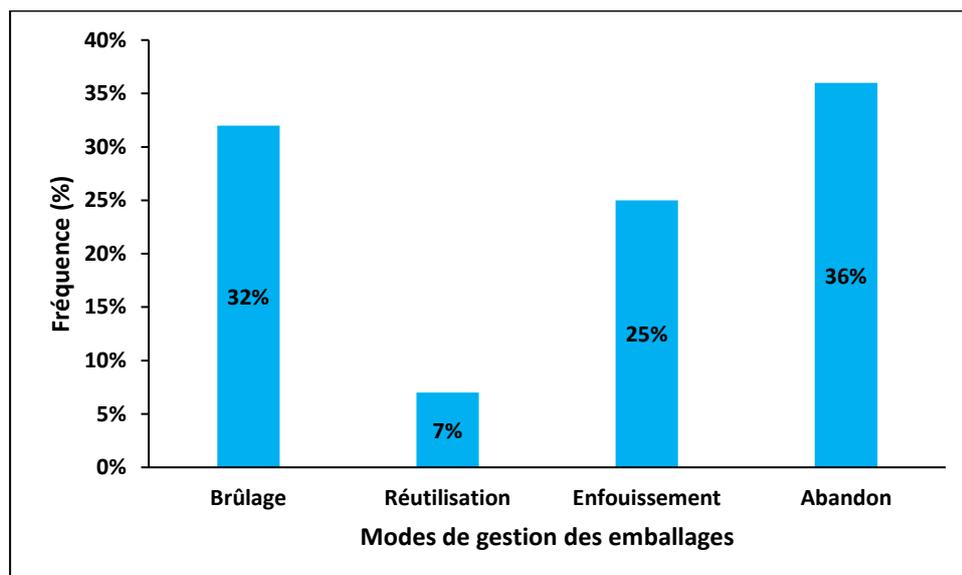


Figure 10 : Gestion des emballages phytosanitaires.

### 3.2.3.9. Estimation de la quantité de produits phytosanitaires

Notre évaluation a permis de savoir qu'au total 375,16 litres et 110,14 kg de pesticides sont utilisés par les producteurs de la plaine respectivement pour les formes solides (granulés ou poudre) et liquides de pesticide (Annexe 9). Ces chiffres ont été obtenus en faisant la sommation des volumes ou poids nets mentionnés sur les emballages des différents produits phytosanitaires inventoriés sur la plaine.

## 3.3. Caractérisation de la vulnérabilité

### 3.3.1. Epaisseur de la zone non saturée (D)

$$D_w = 5$$

Tableau XIII : Classes et indices des profondeurs

Classe D (m)	Cote (Dr)	Indice (Dr*Dw)	Superficie (%)
0,5-1,5	10	50	1,7%
1,5-2,22	9	45	98,3%

Les niveaux statiques moyens mesurés sur la plaine de Karfiguéla varient entre 0,5 m et 2,22 m. Ces niveaux statiques ont permis de discrétiser la superficie de la plaine en deux domaines d'indices partiels de vulnérabilité 50 et 45 (Tableau XIII). Les zones d'indice partiel 50

occupent 1,7% de la superficie de la plaine. Elles sont localisées dans les parties Nord-Ouest et Nord -Est de la plaine (Figure 11) avec des niveaux statiques plus faibles qui varient entre 0,5 m et 1,5m. Ces zones sont donc beaucoup plus sensibles à la pollution agricole lorsque l'on considère seulement le paramètre « D ». Les zones d'indice partiel 45 quant-elles, occupent presque l'intégralité de la superficie de la plaine (98,3% de la superficie de la plaine) ; les niveaux statiques y varient de 1,5m à 2, 22m. Au regard des valeurs relativement élevées de l'ensemble des indices partiels, nous pouvons dire qu'au niveau de la plaine de Karfiguéla, la vulnérabilité partielle du paramètre « D » est globalement élevée.

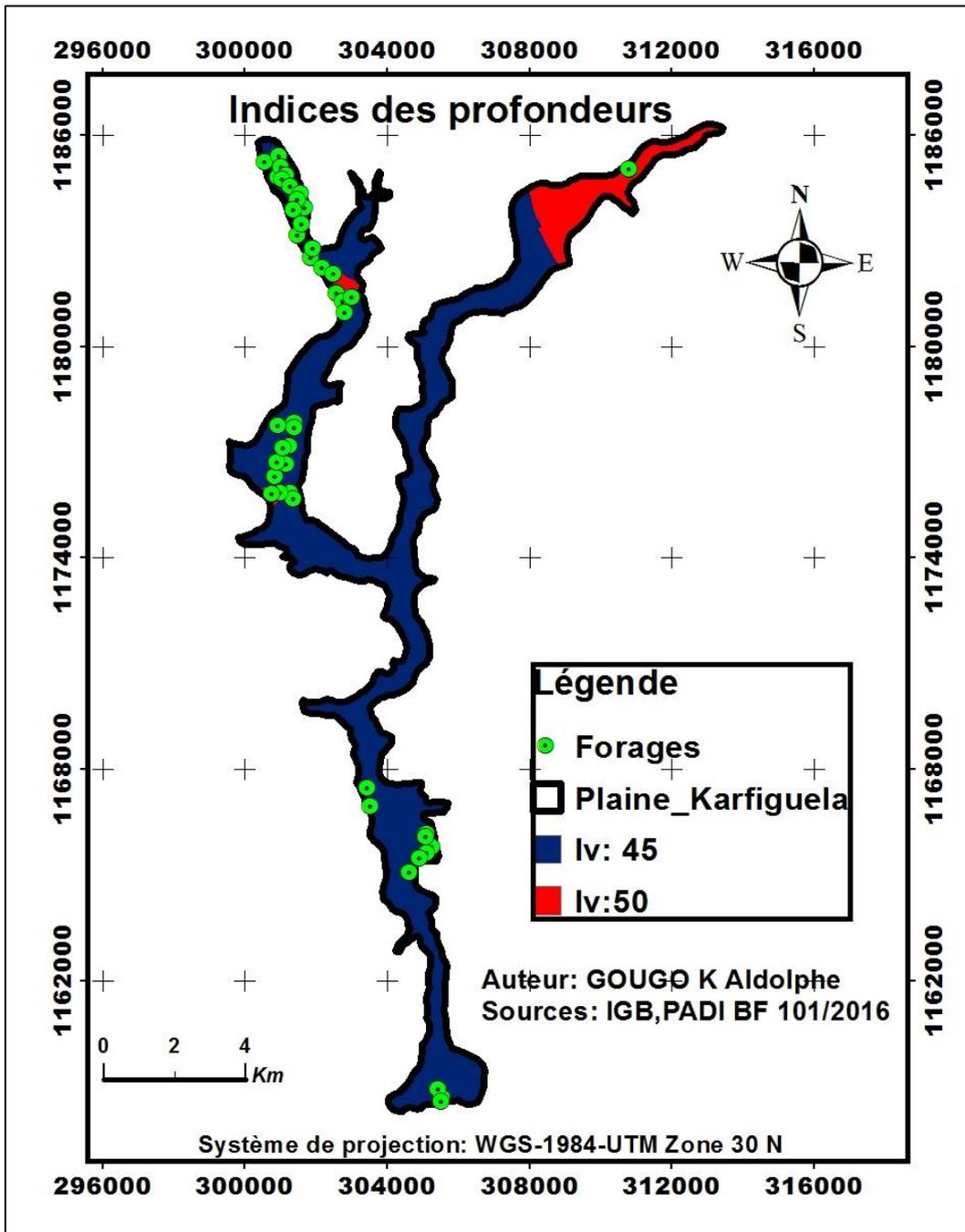


Figure 11 : Carte d'indices de vulnérabilité des profondeurs

### 3.3.2. Recharge (R)

$$R_w = 4$$

Tableau XIV : Classe et indice de la recharge.

Classe R (mm/an)	Cote (Rr)	Indice (Rr*Rw)	Superficie (%)
40,539	1	4	100

La recharge efficace de la plaine alluviale de Karfiguéla est 40,539 mm/an (Tableau XIV). Une seule classe de la recharge est répartie sur la plaine avec un indice partiel faible de 4 (Figure 12). Par conséquent la vulnérabilité partielle de la plaine relative à la recharge efficace est très faible.

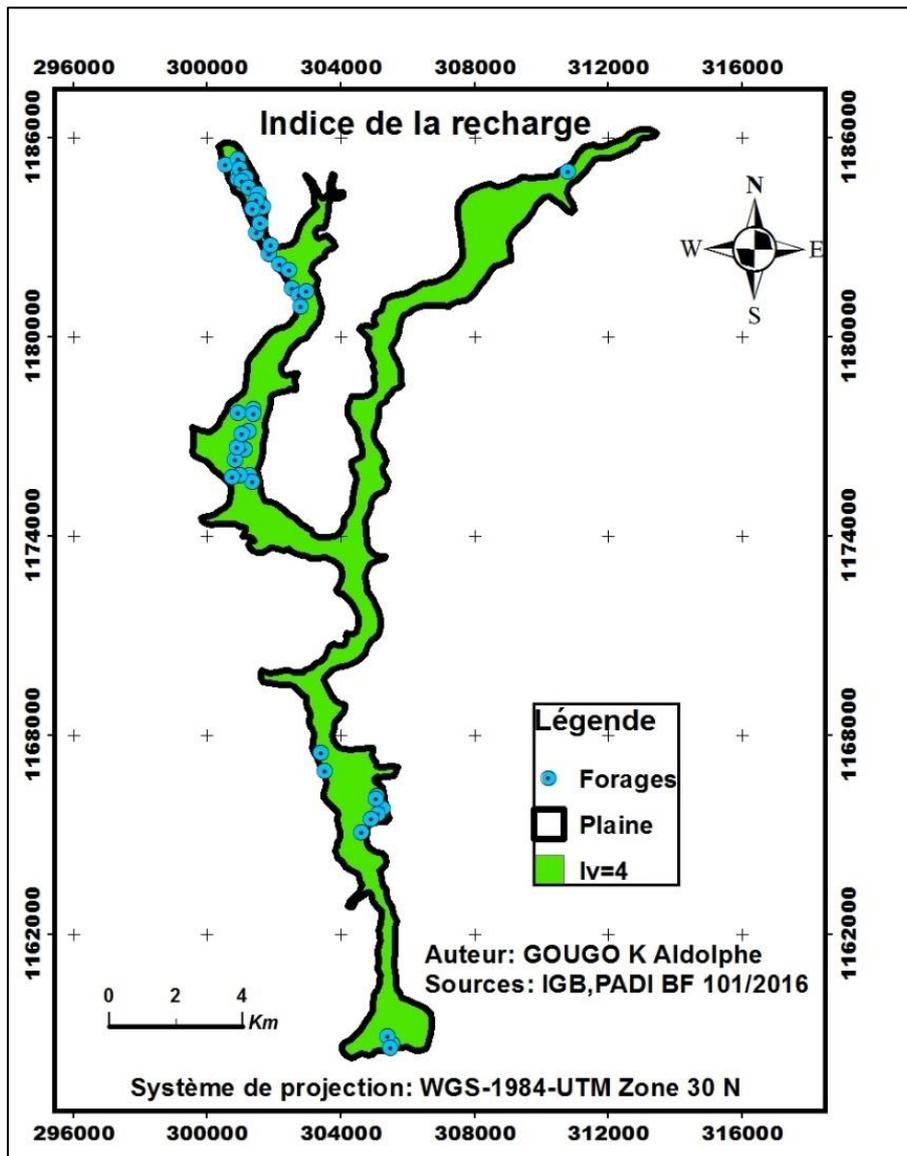


Figure 12 : Carte d'indice de vulnérabilité liée à la recharge

### 3.3.3. Milieu aquifère (A)

$$Aw = 3$$

**Tableau XV : Classes et indice de l'aquifère (A)**

<b>Lithologie de l'aquifère</b>	<b>Cote (Ar)</b>	<b>Indice (Ar*Aw)</b>	<b>Superficie (%)</b>
Argile	2	6	<b>46,6</b>
Argile limoneux	3	9	<b>29,9</b>
Sable limoneux	6	18	<b>21,0</b>
Sable Grossier	8	24	<b>2,5</b>

L'examen du tableau XVI ci-dessus montre que l'aquifère de la plaine alluviale de Karfiguéla est constituée majoritairement d'argile et d'argile limoneux qui occupent respectivement 46,6% et 29,9% du territoire de la plaine. Les argiles sont des matériaux imperméables constituées de fines particules qui interviennent dans le piégeage des polluants. Ces formations argileuses sont localisées dans tous les compartiments de la plaine (Figure 13). Elles occupent de façon cumulative 76,5% du territoire ce qui se traduit par une vulnérabilité faible pour la grande partie de la plaine. Par contre des zones de vulnérabilité élevée constituées essentiellement de sable sont localisées dans la partie sud de la plaine. Ces zones occupent 23,5% de la superficie totale de la plaine.

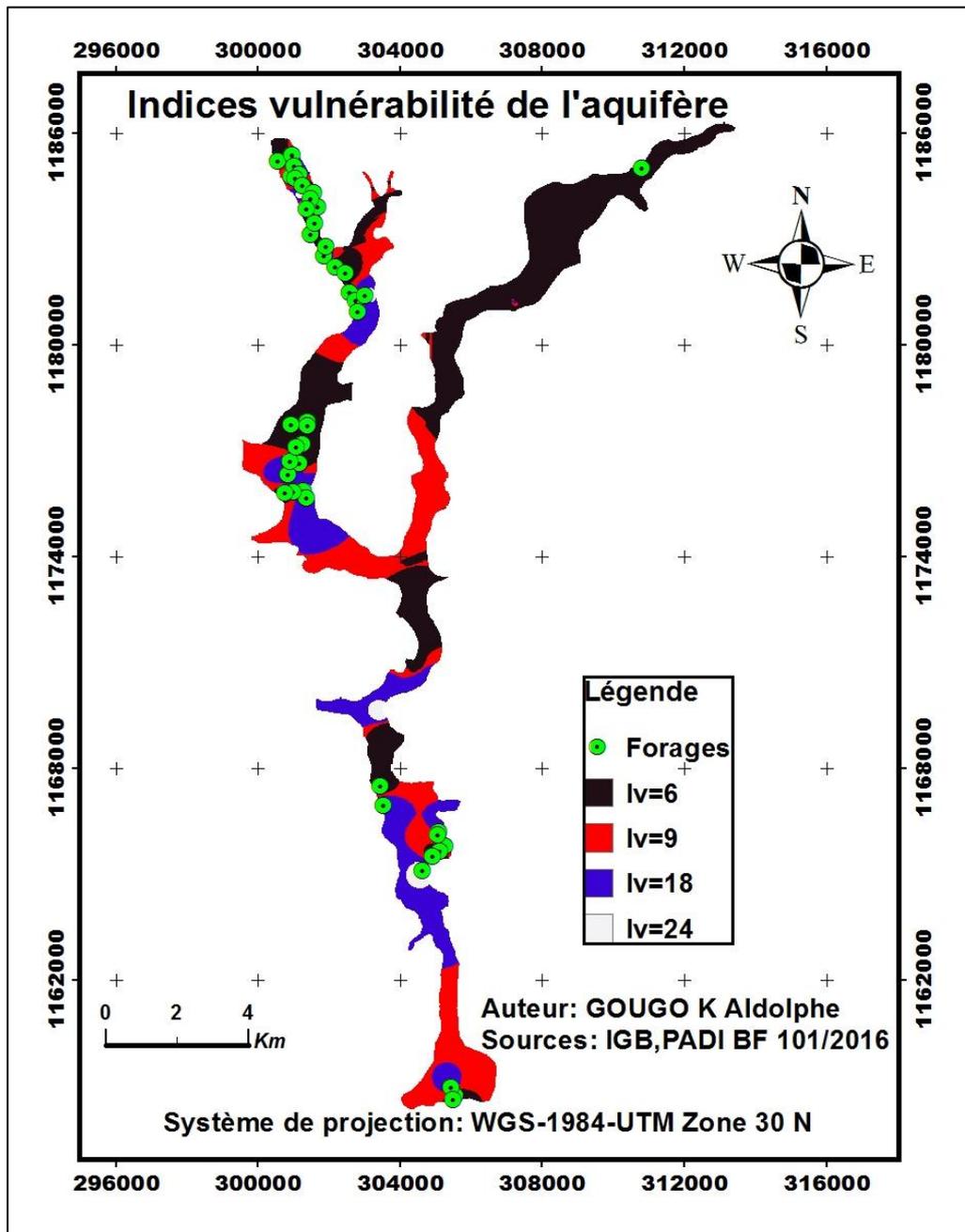


Figure 13 : Carte d'indices de vulnérabilité de l'aquifère

### 3.3.4. Sol (S)

$$Sw = 2$$

**Tableau XVI : Classes et indices des sols.**

Classes S	Cote (Sr)	Indice (Sr*Sw)	Superficie (%)
Argile	1	2	54,2
Argile limoneux	3	6	33,7
Sable limoneux	6	12	11,1
Sable grossier	9	18	0,9

La description des matériaux constituant le sol de la plaine montre qu'il est formé d'argile, d'argile limoneux, de sable limoneux et de sable grossier. Les argiles et argiles-limoneux sont les plus dominantes ; ils occupent respectivement 54,2% et de 33,7% de la superficie de la plaine. De plus ils présentent des indices partiels faibles (2 et 6) et sont donc moins vulnérables à la pollution. Ils limitent le transfert des flux de polluants vers la nappe par les phénomènes d'adsorption conférant ainsi à une grande partie de plaine une plus grande résistance à la pollution. Ces zones de faible vulnérabilité partielle liée au paramètre « A » sont situées au niveau des pôles nord, sud et dans la partie centrale de la plaine. Les zones de vulnérabilité élevées sont repérées essentiellement dans les secteurs sud et nord-ouest de plaine (Figure 14). Elles sont faiblement représentées et occupe seulement 12% de la superficie de la plaine.

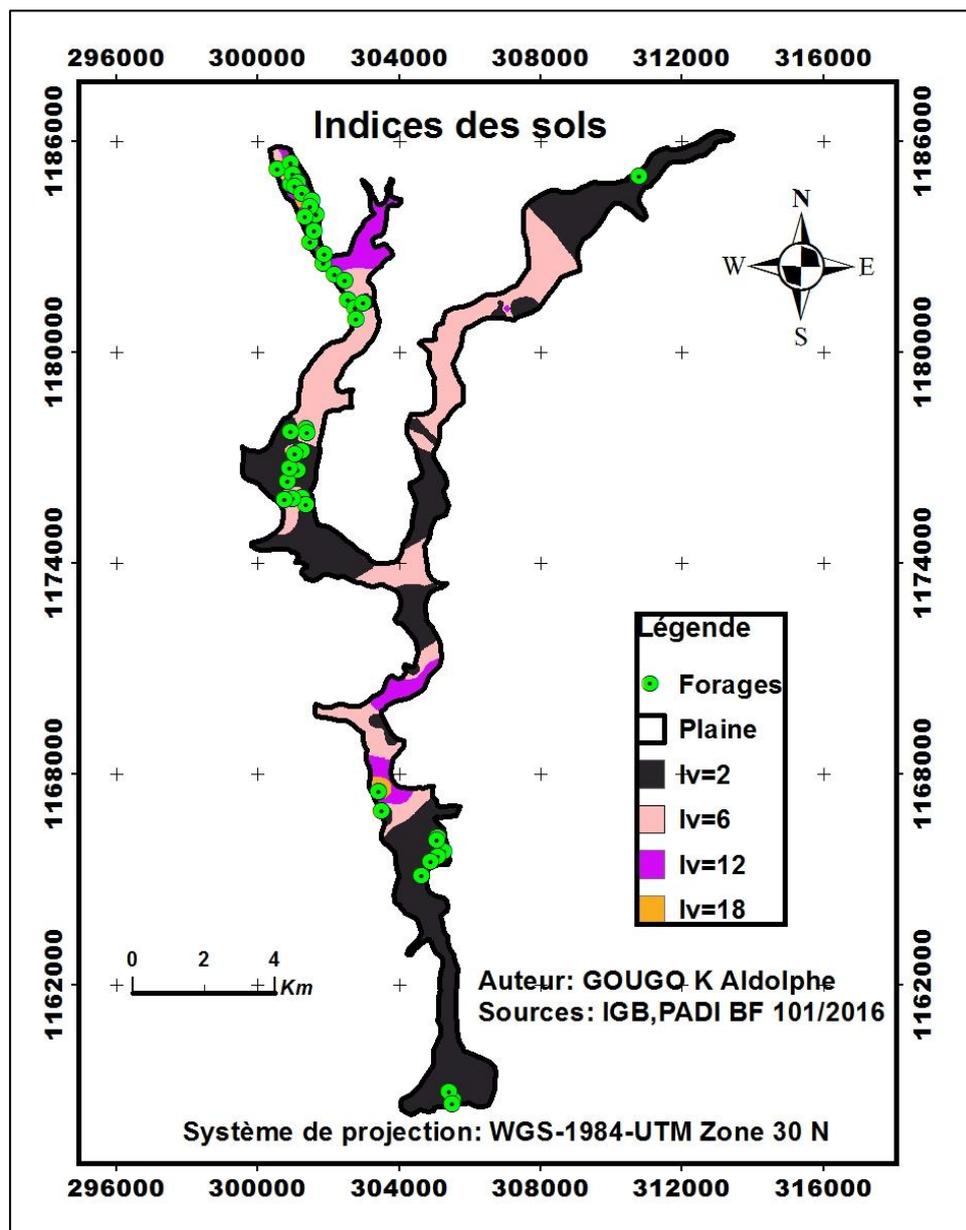


Figure 14 : Carte d'indice de vulnérabilité de sols

### 3.3.5. Topographie (T)

$$T_w=1$$

Tableau XVII : Classes et indices des pentes.

Classe de T	Cote (Tr)	Indice(Tr*Tw)	Superficie (%)
0-2%	10	10	99,6
2%-4%	9	9	0,4

La plaine alluviale de Karfiguéla est relativement plate avec des pentes n'excédant pas 4%. Les indices partiels de vulnérabilité des pentes sont élevés (10 et 9) (Tableau XVIII). La morphologie de la plaine favorise donc la rétention de l'eau en surface et ainsi les contaminants qui ont plus de facilité de migrer vers la nappe. A l'analyse on peut dire que la vulnérabilité partielle du paramètre « T » de la plaine est très élevée.

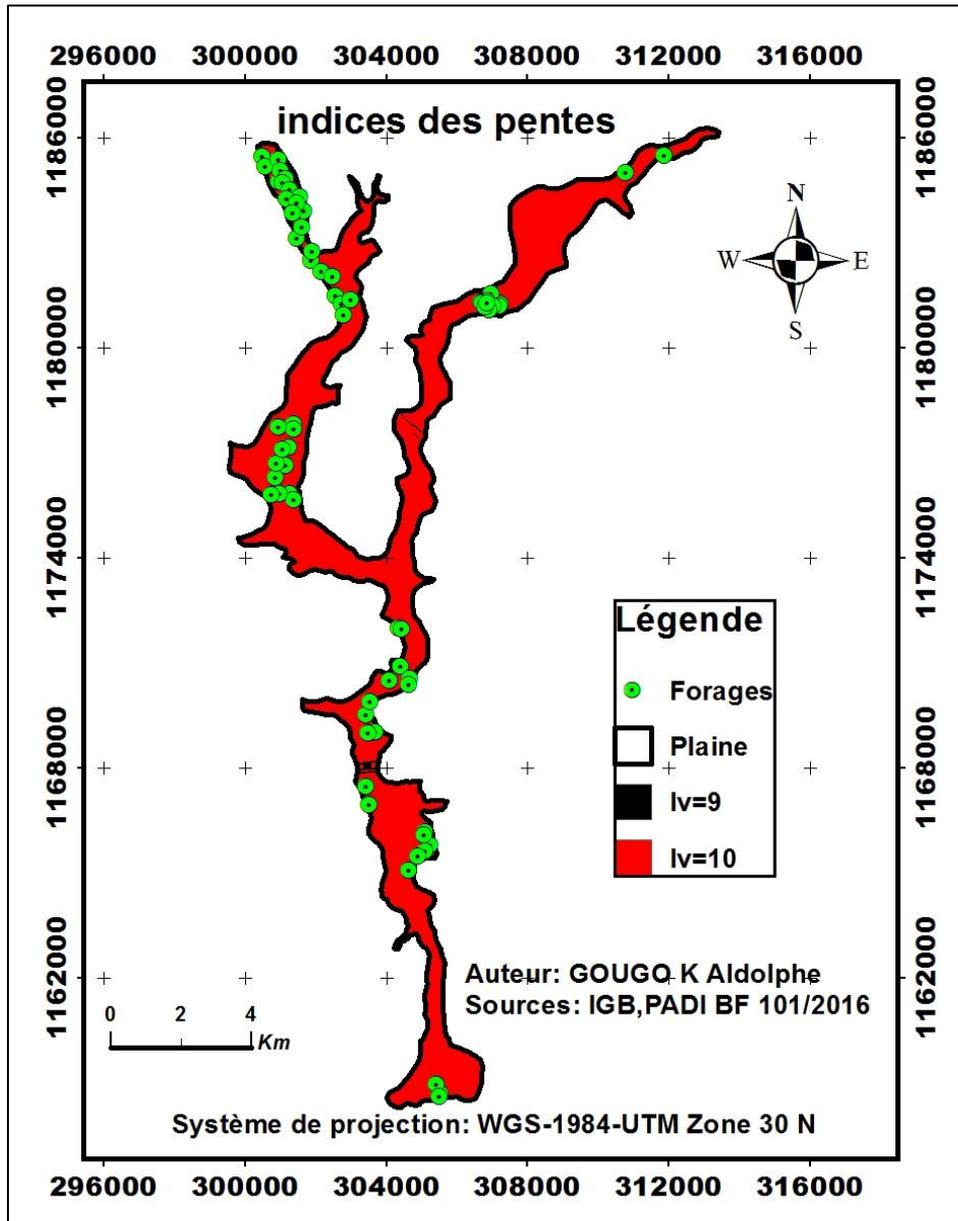


Figure 15 : Carte d'indices de vulnérabilité des pentes

### 3.3.6. Impact de la zone non saturée (I)

$$I_w=5$$

**Tableau XVIII : Classes et indices de la zone non saturée**

Classe de I	Cote (Ir)	Indice (Ir*Iw)	Superficie (%)
Argile	2	10	<b>43,8</b>
Argile limoneux	5	25	<b>19,8</b>
Sable limoneux	6	30	<b>36,1</b>
Mélange	8	40	<b>0,3</b>

La carte de la zone non saturée présente à peu près la même configuration que celle de l'aquifère et du sol ; elle montre en effet l'existence de quatre domaines de vulnérabilité constitués d'argiles, argiles-limoneux, sables-limoneux et de sables. Les zones de faible vulnérabilité caractérisées par des indices partiels faibles (10 et 25) sont localisées essentiellement au nord-est et sud. Ces zones occupent 43,8% du territoire pour les formations argileuses et 36,1% du territoire pour les formations argilo-limoneuses. Les zones de vulnérabilité forte d'indices partiels 30 et 40 sont des voies de pollution privilégiées car constituées de matériaux plus perméables (sable et sable limoneux). Ces zones sont localisées dans la parties centrale et ouest de la plaine.

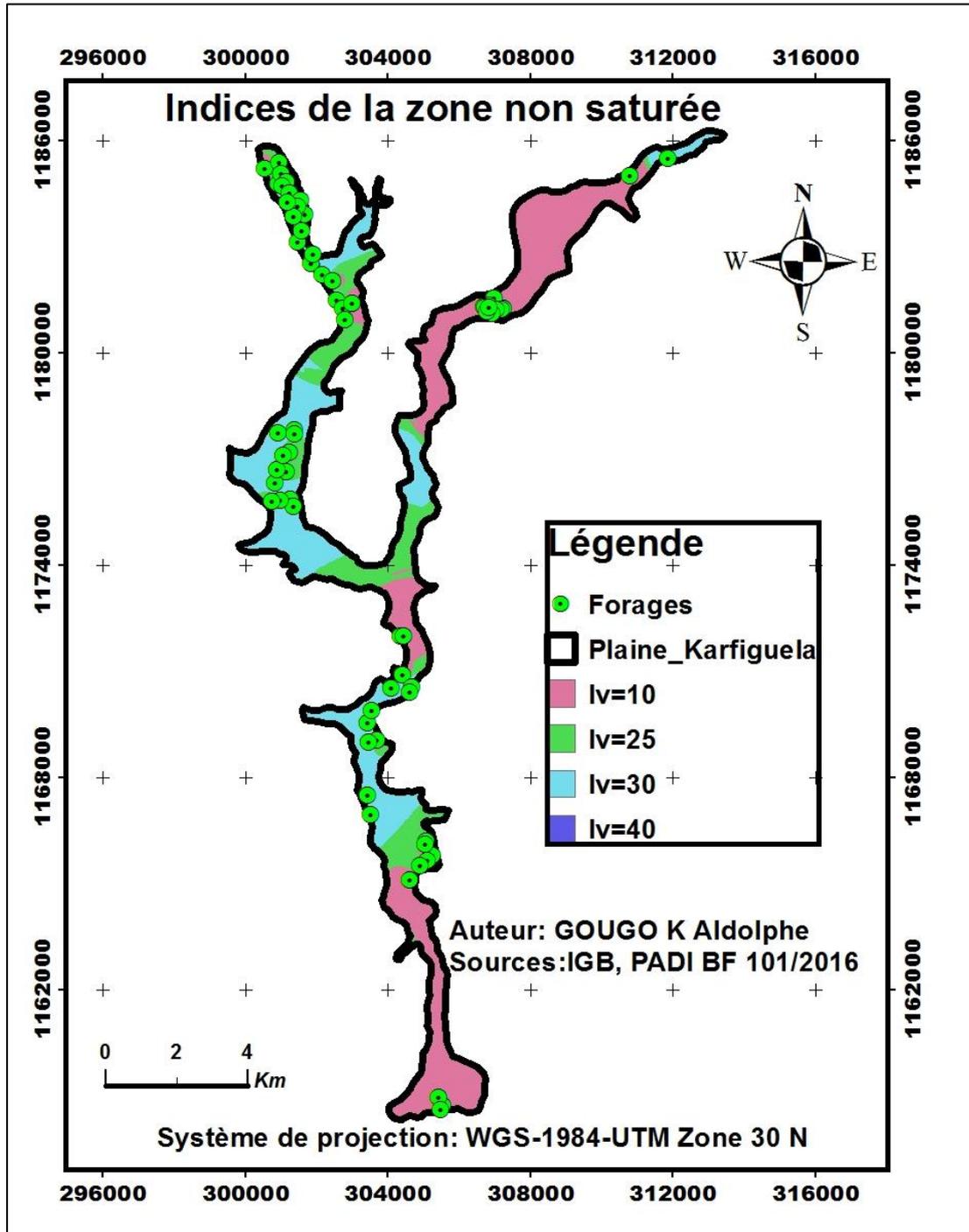


Figure 16 : Carte d'indices de vulnérabilité de la zone non saturée

### 3.3.7. Conductivité (C)

$$C_w=3$$

**Tableau XIX : Classes et indices de la conductivité**

Classes C (m/s)	Cotes (Cr)	Indices (Cr*Cw)	Superficies (%)
$1.5.10^{-7}$ - $5.10^{-5}$	1	3	78,14
$5.10^{-5}$ - $15.10^{-5}$	2	6	21,37
$15.10^{-5}$ - $33.10^{-5}$	4	12	0,45
$33.10^{-5}$ - $5.10^{-4}$	6	18	0,04

L'examen du tableau XX montre quatre classes de conductivités hydrauliques. Les classes de conductivités hydrauliques les plus faibles ( $[1.5.10^{-7}$ - $5.10^{-5}]$  et  $[5.10^{-5}$ - $15.10^{-5}]$ ) sont majoritaires. Ces classes occupent à elles seules 99,51% de la superficie de la plaine. Quant aux zones présentant des conductivités hydrauliques élevées ( $[15.10^{-5}$ - $33.10^{-5}]$  et  $[33.10^{-5}$ - $5.10^{-4}]$ ) elles représentent cumulativement 0,49% de la superficie de la plaine. Ces zones ont des indices les plus élevés de vulnérabilité (12 et 18) et sont confinées dans la partie Nord-Ouest de la plaine.

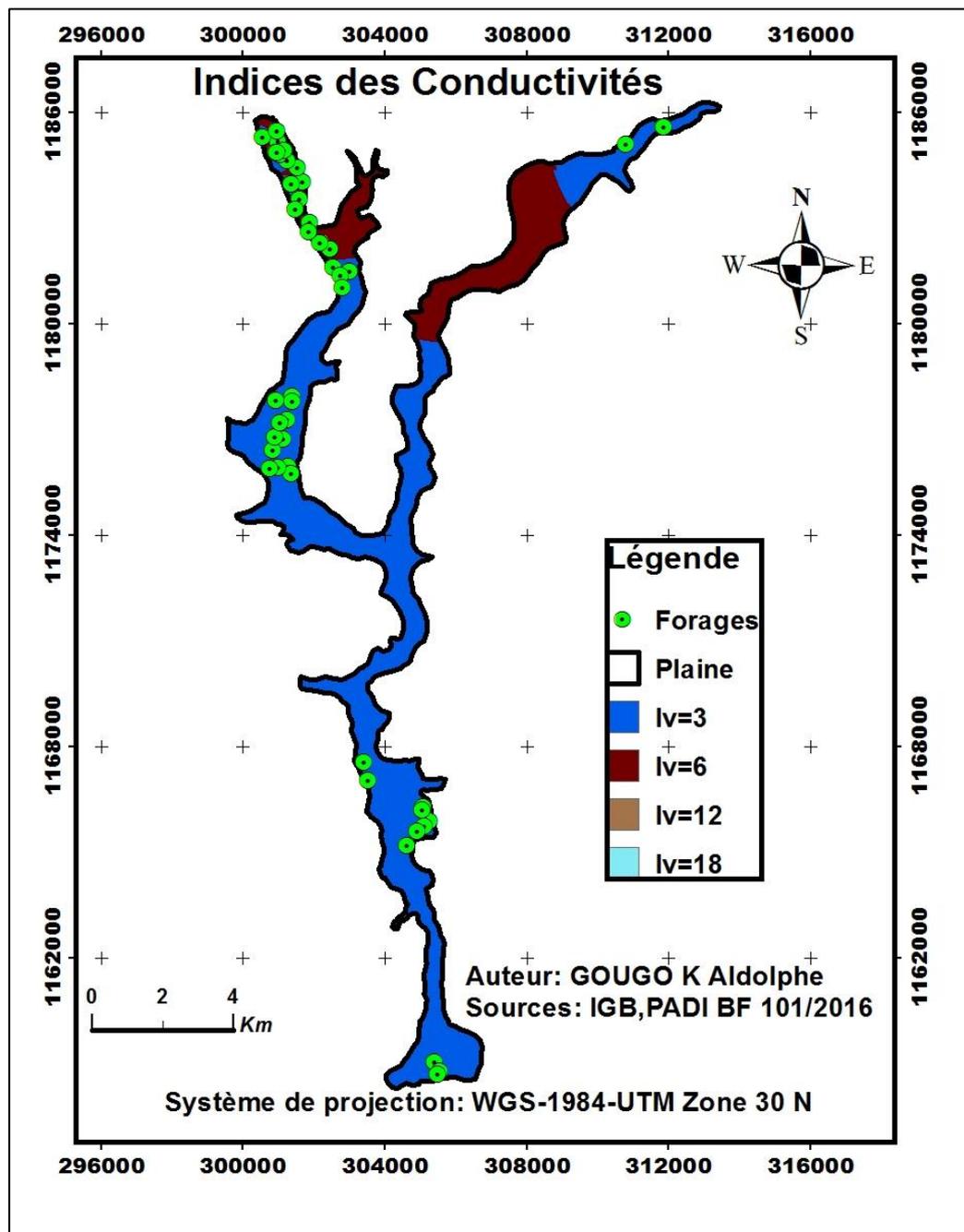


Figure 17 : Carte d'indices de vulnérabilité des conductivités hydrauliques

### 3.3.8. Indices de vulnérabilité DRASTIC version standard

La carte de la vulnérabilité à la pollution agricole générée automatiquement par le logiciel Arcgis indique neuf classes d'indices variant de 79 (indice minimum) à 152 (indice maximal). En considérant les intervalles des indices proposés par Aller et *al.* 1987 (Tableau IX), une nouvelle reclassification a été faite. Ainsi quatre (04) classes de vulnérabilité ont été mises en évidence (Tableau XXI) :

- la classe de vulnérabilité très faible occupant 4,7% de la superficie de la plaine ;
- la classe de vulnérabilité faible occupant 49,2% de la superficie de la plaine ;
- la classe de vulnérabilité moyenne occupant 45,9% de la plaine ;
- la classe de vulnérabilité forte représentant 0,2% de la superficie de la plaine.

De l'analyse des résultats ci-dessus, nous pouvons dire que la vulnérabilité de la plaine est globalement faible. En effet le cumul des classes de vulnérabilité « très faible » et « faible » donne un pourcentage 53,9%. Ces classes sont majoritairement représentées au niveau du pôle Nord-Est (Zone de Niankar, Bounouna) et de la zone Sud (Diarabakoko). Ces zones sont caractérisées par des conductivités hydrauliques faibles ; de plus les lithologies du sol, de la zone non saturée et de l'aquifère sont essentiellement constituées d'argile et de limons. La nature de ces paramètres constitue des facteurs limitants à la mobilité des polluants ce qui explique le faible niveau de vulnérabilité de ces zones.

La classe de vulnérabilité moyenne (45,7%) est répartie à des degrés divers dans tous les compartiments de la plaine. La présence de cette classe est beaucoup plus prononcée au Nord-Ouest (Zone de Karfiguéla).

La classe de vulnérabilité forte est la moins représentative et occupe seulement 0,2 % de la superficie de la plaine. Cette classe apparaît de façon sporadique au niveau du pôle Nord- Ouest de la plaine, zone de Karfiguéla où l'on rencontre du sable dans la lithologie de l'aquifère, de la zone non saturée et du sol. De plus cette zone est caractérisée à certains endroits par des conductivités hydrauliques assez élevées.

**Tableau XX : Classes de vulnérabilité DRASTIC version standard**

<b>Paramètres statistiques</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Classes obtenues par le logiciel</b>	<b>Reclassification selon Aller et al</b>	<b>Pourcentage (%)</b>
<b>Count</b>	51664	79-85	79-80	4,7
<b>Mini</b>	79	85-93	80-100	49,9
<b>Max</b>	152	93-101	100-140	45,9
<b>Sum</b>	5065844	101-107	140-152	0,2
<b>Mean</b>	98,053654	107-113		
<b>Standard déviation</b>	12,238602	113-119		
		119-127		
		127-138		
		138-152		

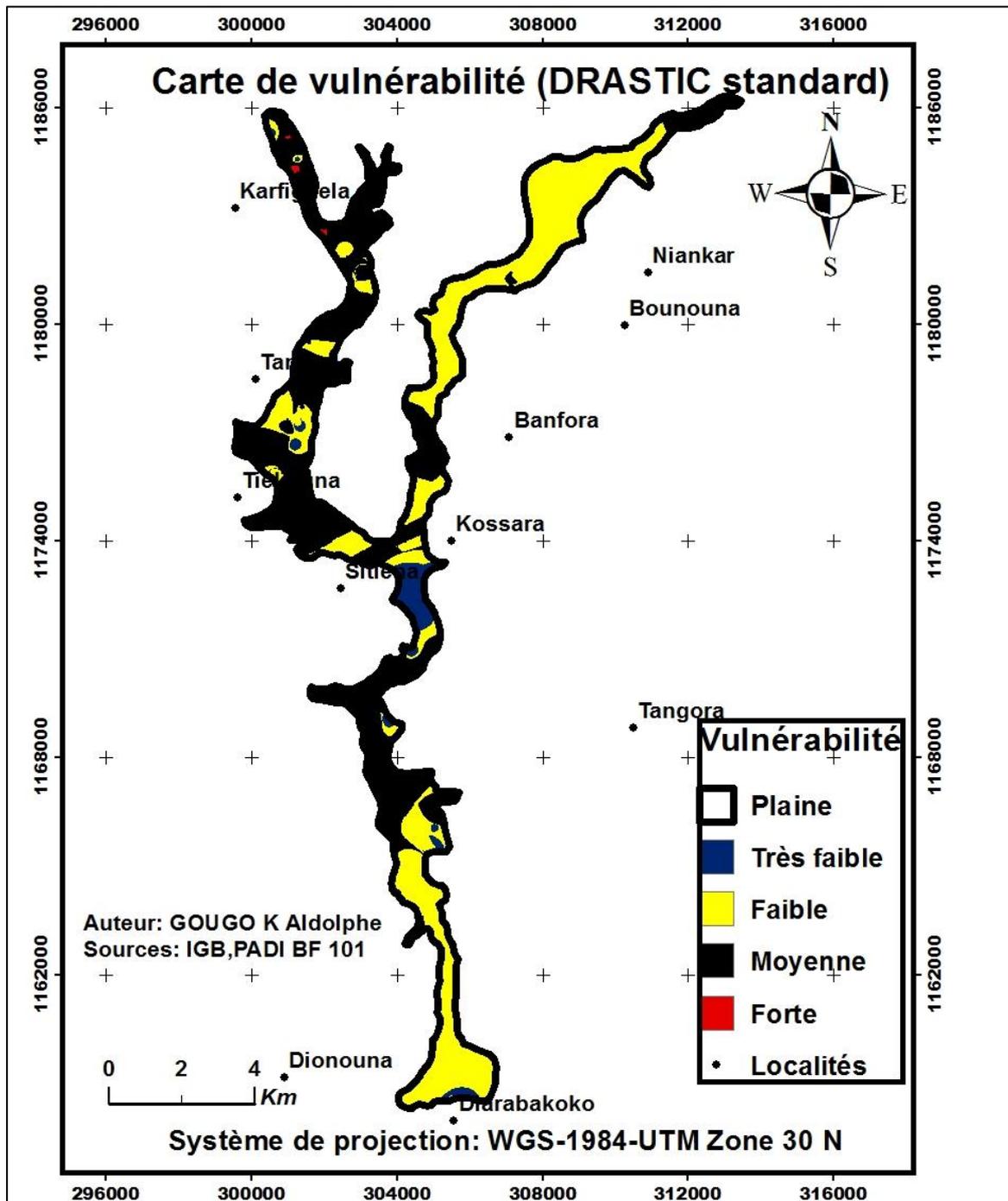


Figure 18: Carte de la vulnérabilité de la plaine alluviale de Karfiguéla

### 3.3.9. Validation de la carte de vulnérabilité

La validation de la carte de vulnérabilité donne un taux de coïncidence de 37,5%. Ce taux relativement faible pourrait s'expliquer par :

- la faible disponibilité des données : le nombre de mesures disponibles (08 mesures) de la teneur en nitrate n'est pas suffisant pour établir un lien entre la contamination des

eaux souterraines et les zones de vulnérabilité. Les taux de nitrate mesurés ne donnent pas une vision réaliste de l'état de pollution de la plaine étant donné que ce sont des mesures ponctuelles limitées dans le temps (mesure de 2012) et dans l'espace.

- la pondération des paramètres : la littérature rapporte que la pondération accordée à la zone non saturée est un peu exagérée. Ce paramètre est difficile à évaluer puisque plusieurs processus interviennent à ce niveau (changement de conductivité en fonction de la saturation, écoulement préférentiel) et la capacité des racines des plantes ne sont pas prises en compte.
- La méthode DRASTIC ne prend pas en compte certains phénomènes et les propriétés chimiques des contaminants comme l'adsorption, le temps de migration et la dilution ou les phénomènes de dénitrifications (Rosen, 1994).

Malgré un taux de coïncidence assez faible, nous pouvons dire que cette carte demeure un outil pour distinguer les zones les plus vulnérables des zones les moins vulnérables.

**Tableau XXI : Coïncidence entre les concentrations en nitrate et les classes de vulnérabilité.**

Vulnérabilité	Nombre de NO <sub>3</sub> [0-2mg/l]	Nombre de NO <sub>3</sub> [0-3,6]	Nombre de NO <sub>3</sub> [3,6-50[
Très faible	1	0	0
Faible	0	0	0
Moyenne	5	0	2
Forte	0	0	0

## Conclusion et recommandations

Au terme de notre étude, les résultats obtenus révèlent que sur la plaine alluviale de Karfiguéla la gestion de la fertilité des sols est exclusivement basée sur l'utilisation de la fumure organique et minérale ; le principal moyen de lutte des ravageurs est l'application de produits phytosanitaires chimiques. L'appréciation du risque de pollution des eaux souterraines par ces produits a pu être réalisée théoriquement à l'aide de l'indicateur GUS qui prend en compte le temps de demi-vie (DT<sub>50</sub>) et le coefficient de partage carbone organique /eau (Koc) des matières actives.

Cette étude a aussi permis d'identifier les pratiques à risque liées à l'utilisation des pesticides sur la plaine de Karfiguéla. L'occupation anarchique des berges, l'usage de produits prohibés, l'utilisation des pesticides du cotonnier sur les cultures maraîchères, la réutilisation des emballages vides sont autant d'exemples de mauvaises pratiques agricoles qui font légion sur la plaine de Karfiguéla. Ces pratiques entraînent des conséquences néfastes aussi bien sur l'homme et que sur l'environnement.

De ces constats, la question qui se pose est de savoir si les mauvaises pratiques d'utilisation des intrants agricoles ont un impact négatif sur la qualité des ressources environnementales de la plaine et sur la santé des populations des villages environnants. Répondre à cette question passe par une étude complémentaire qui requiert la collecte et l'analyse d'échantillons dans diverses matrices environnementales (sol, plantes, eau) pour déterminer la teneur des pesticides.

L'inventaire des ouvrages de captage d'eau souterraine a fait ressortir l'existence de puits maraîchers sur la plaine sans aucun dispositif de fermeture. Ces puits peuvent constituer des sources de pollution directe des eaux souterraines.

L'évaluation de la vulnérabilité à la pollution agricole par la méthode DRASTIC basée sur le SIG a mis en évidence l'existence de quatre (04) classes de vulnérabilité : une classe de vulnérabilité très faible (4,7%), une classe de vulnérabilité faible (49,2%), une classe de vulnérabilité moyenne (45,9%) et enfin une classe très marginale de vulnérabilité forte (0,2%). La validation de la carte de vulnérabilité a été testée par la distribution spatiale des taux de nitrates. Le taux de coïncidence est de 37,5%. Malgré ce taux relativement faible qui, du reste pourrait être lié à la qualité et à la disponibilité des données, cette carte reste un outil indispensable pour identifier les zones les plus sensibles à la pollution.

### **Recommandations :**

Suite aux résultats de notre travail, nous pouvons formuler les recommandations suivantes :

- ☞ densifier le réseau piézométrique sur la base d'une étude d'optimisation du réseau afin de mieux suivre les fluctuations piézométriques ;
- ☞ inciter les producteurs de la plaine à mobiliser les eaux souterraines pour les besoins d'irrigation;
- ☞ surveiller de façon périodique les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines ;
- ☞ intégrer l'utilisation de la carte de vulnérabilité dans les activités de sensibilisation des producteurs ;
- ☞ mettre en place un réseau de surveillance des produits phytosanitaires pour meilleur un suivi des risques de pollution ;
- ☞ procéder à la délimitation de la bande de servitude des berges de la Comoé afin d'amoindrir la dérive des polluants dans le cours d'eau et retarder son envasement ;
- ☞ contrôler la commercialisation des intrants au Burkina Faso afin d'empêcher la circulation des produits obsolètes et non homologués ;
- ☞ mener des campagnes d'information et de sensibilisation auprès des producteurs sur les dangers environnementaux et sanitaires liés à l'utilisation non contrôlée des pesticides.
- ☞ faire la promotion des moyens alternatifs aux pesticides chimiques ;
- ☞ mettre en place une filière de gestion des déchets phytosanitaires ;

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**AEC, 2014.** Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau de l'espace de compétence de l'Agence de l'Eau des Cascades (2014-2030). *Rapport définitif* ;190p.

**AEC, 2015.** Inventaire des occupants des berges de la rivière Comoé et estimation des besoins réels en eau des usagers agricoles. *Rapport définitif* ;126p.

**Aller L., Bennet T., Lehr J.H., Petty R.J. and Hacke G., 1987.** Drastic : A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. National Water Well Association 1987 ; *Rapport EPA-600/2-87-035* ; 622 p.

**Aubre F.,1992.** Développement d'une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. *Mémoire de maîtrise*, École des Gradués de l'Université de Laval, Faculté des Sciences et Génie, 249 p.

**Badiane M., 2004.** Utilisation des pesticides dans le système maraîcher périurbain : variations annuelles et impacts sur la santé des populations. *Thèse de doctorat.*, Med. Vét., Dakar, 125 p.

**Bama J. W., 2014.** Typologie des systèmes agroforestiers à manguier et anacardier dans le territoire de Kotoudeni (Kéné Dougou) : impact sur la production agricole ; *Mémoire de fin de cycle*. Université Polytechnique de Bobo -Dioulasso, Institut de Développement Rural (IDR).56 pages.

**Bayili B., 2014.** Risques environnementaux liés à l'utilisation des pesticides dans deux agro-systèmes à base de coton conventionnel & de coton biologique à Komplan 2 dans la commune de Dano au Burkina Faso. *Master II de recherche*, Option Biologie appliquée et modélisation des systèmes biologiques (BA-MSB).77p.

**Bétan N., 2014.** Caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale de Karfiguéla, *mémoire de master*, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE).76p.

**Castany G.,** Principe et méthode de l'hydrogéologie. Dunod Université. Paris : Bordas, 1982. 237p

**CLE-HC, 2010.** Rapport d'activités.6p

**Dao D.M., 2015.** Taux d'exploitation et durabilité de la ressource en eau des aquifères alluviaux de Kou et de Karfiguéla, *mémoire de master*, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE). 109 p

**Dembélé Y., Ouédraogo M., Somé L., 2010.** Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : Cas des paysans du Burkina Faso, Volume 21, numéro 2, avril-mai-juin 2010.

**Devez A., 2004.** Caractérisation des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. *Thèse pour l'obtention de grade de docteur* : École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts (ENGREF), Hydrosociences Montpellier (HSM).

**DGH. (2001),** État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion, programme GIRE, version finale, 251p.

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

**Fontès J. et Guinko S., 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso : notice explicative. Ministère de la coopération Française, 53 p.

**Fortin J., 2008.** L'ABC des méthodes d'échantillonnage.

**Foster, S.S.D.** 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. *TNO Comm. Hydrol. Res. Proc. et Information* 38, p 69-86.

**Hugot G.,2002.** À la recherche du Gondwana perdu : aux origines du monde.

**Isabel D., Gelinat P. et Aubre F. (1990).** Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. *Rev Sc Tech Eau*, 23 p.

**INSD, 2009.** Projections démographiques de 2007 à 2020. Résultats définitifs. Ministère de l'économie et des finances. 69 p.

**Jourda J.P., Saley M.B., Djagoua E.V., Kouamé K.J., Biémi J. et Razack M. (2006).** Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. *Revue de Télédétection*. vol.5, n°4, pp. 339-357.

**Kalinski, R.J., Kelly, W.E., Bogardi, I., Ehrman, R.L. et Yamamoto D. 1994.** Correlation between DRASTIC vulnerabilities and incidents of VOC contamination of municipal wells in Nebraska. *Groundwater* vol. 32, No. 1, Janvier-Février.

**Kanda M., 2011.** Agriculture Maraîchère au Togo : Analyse Systémique et Environnementale, *Thèse de doctorat*. Université de Lomé, Togo, 153 p.

**Kouamé K. J., 2003.** Apports d'un système d'information géographique à la réalisation de la carte de vulnérabilité de la nappe du Continental terminal au niveau de l'agglomération d'Abidjan. *Mémoire de DEA* des Sciences de la Terre option hydrogéologie, Université de Cocody, 63 p.

**Laouli H., 2013.** Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine de Karfiguéla par des investigations géophysiques, *mémoire de master*, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE). 79 p.

**Lompo D J., 2005.** Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture de l'Ouest du Burkina Faso : Evaluation des effets agronomiques et de la rentabilité économique de trois formules de fumure. *Mémoire d'ingénieur du développement rural / Option Agronomie*. IDR/UPB. Burkina Faso. 50 p.

**Mohamed R.M., 2001.** Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode DRASTIC. *Sciences et changement planétaires / sécheresse*, vol. 12, n°2, pp. 95-101.

**MAHRH, 2007.** Document guide à la révolution verte. Septembre 2007. 98 p.

**Mohamed.R.M (2001) :** Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'EL Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode Drastic. *Sécheresse* n°2, vol. 12, pp 95 -101.

**Murat V., et Paradis D., Savard MM., Nastev M., Bourque E., Hamel A., Lefebvre R., Martel R., (2003).** Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD (publication), 16 p.

**Nébié R.C, Yaméogo T.R. et Sié S.F., 2002.** Résidus des pesticides dans quelques produits alimentaires de grande consommation au Burkina Faso. *Bulletin d'informations de la SOACHIM* N°4 pp 68-78.

**OMS, 2005.** The WHO (World Health Organisation) recommande classification of pesticide by hazards and guidelines to classification 2004/2005.60 pp

**Ouédraogo C., 1998.** Cartographie géologique de la région sud-ouest du Burkina Faso au 1/200.000-Synthèse géologique, AQUATER/BUMIGEB.

**Ouédraogo M., Tankoano A., Ouédraogo T. Z., Guissou I. P., 2009.** Étude des facteurs de risques d'intoxications chez les utilisateurs de pesticides dans la région cotonnière de Fada N'Gourma au Burkina Faso. Environnement, Risques et Santé, vol. 8, Ouagadougou, 347 p.

**PADI -BF 101 (2014),** Synthèse des mesures piézométriques et hydrométriques réalisées dans la plaine alluviale de Karfiguéla, Rapport.57 p

**Panagopoulos, G.P., Antonakos, A.K., Lambrakis, N.J.,2006.** Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. Hydrogeology Journal (2006) 14 : p.894-911

**Ramade F.,1992.** Précis d'écotoxicologie.Ed. Masson., 300 p.

**Ribeiro L.,2000.** Desenvolvimento de um índice para avaliar a susceptibilidade dos aquíferos a contaminação, Nota interna, ERSHA-CVRM.

**Rosen L., 1994.** A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions.Ground Water32 : p.278-285.

**Rupert, M., Dace, T., Maupin, M. et Wicherski B. 1991.** Groundwater vulnerability assessment, snake river plain, southern Idaho. Idaho Department of Health and Welfare, Division of Environmental Quality, 25 p.

**Toé.A.M., Kinane M.L., Koné S., Sanfo B.E., 2004.**Le non respect des bonnes pratiques dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticide en cultures cotonnières au Burkina Faso: Quelques conséquences sur la santé humaine et l'environnement. Revue Africaine de Santé et de Productions Animales, 2004, Vol.2, N°3-4,275-280 p.

**Toé A.M., 2010.** Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso, 94 p.

**Trojan M. D. et Perry J.A., 1988.** Assessing hydrogeologic risk over large geographic areas. Station bulletin 585-1988 (Item No AD-SB-3421) Minnesota agricultural experiment station University of Minnesota, 65 p.

**Van Stempvoort, D., Ewert, L. et Wassenaar, L. 1992.** AVI : A method for groundwater protection mapping in the prairie provinces of Canada. PPWB pilot project, final report, septembre 1991- mars 1992, 18 p.

**Vrba.J., Zoporozec A., 1994.** Guidebook on mapping groundwater vulnerability, IAH International Contribution for Hydrogeology.

**VREO, 2010.** Schema Directeur d'aménagement et de gestion des ressources en eau du bassin de la Comoé. Volume 1 : Analyse & diagnostic de l'état des lieux des ressources en eaux du bassin. Version définitive ; 95 p.

**Wade C S., 2003.** L'utilisation des pesticides dans l'Agriculture périurbaine et son impact sur l'environnement. Etude menée dans la région de Thiès, Thèse Pharmacie, Dakar UCAD,55p.

#### **Sites internet**

<http://www.reca-niger.org/spip.php?article579>: site liste des produits homologué

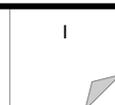
<http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pest/part/protect-protoger/publi-regist/index-fra.php>

[http://www.reca-niger.org/IMG/pdf/liste\\_pesticides\\_autorises\\_maraichage\\_fevrier2016.pdf](http://www.reca-niger.org/IMG/pdf/liste_pesticides_autorises_maraichage_fevrier2016.pdf)

[http://www.ineris.fr/siris-pesticides/siris\\_base\\_xls/siris\\_2012.xls](http://www.ineris.fr/siris-pesticides/siris_base_xls/siris_2012.xls)

## **Annexes**

---



## ANNEXE 1 : CODIFICATION DE LA FORMULATION DES PESTICIDES

Des abréviations codées accompagnent le nom commercial inscrit sur l'étiquette des pesticides pour indiquer le type de formulation du produit. Nous avons recensé quelques exemples dans cet annexe afin d'en donner la signification.

- **D** – Poussière ou poudre
- **DF** – Pâte granulée
- **E ou EC** – Concentré émulsifiable
- **F** – Suspension concentrée
- **GR** – Granulé
- **P** – Pastille
- **SN** – Solution
- **SC** – Concentré pulvérisable
- **SP** – Poudre soluble
- **SG** : Granulé soluble dans l'eau
- **WDG** – Granulé soluble
- **WP** – Poudre mouillable
- **WS** – Concentré soluble dans l'eau

**ANNEXE 2 : Code de l'usage principal utilisé dans la classification des pesticides de l'OMS**

<b>Code</b>	<b>Usage principal</b>	<b>Code</b>	<b>Usage principal</b>
AC	Acaricide	L	Larvicide
AP	Aphicide	M	Molluscicide
B	Bactériostatique	MT	Miticide
FM	Fumigant	N	Nématocide
F	Fongicide	O	Autres usages pour les pathogènes des plantes
FST	Fongicide pour traitement des semences	PGR	Régulateur de croissance des plantes
H	Herbicide	R	Rodenticide
I	Insecticide	RP	Répérent
IGR		S	Appliqué sur le sol
Ix		SY	Synergiste

**ANNEXE 3 : Catégories de toxicité aigüe des produits chimiques**

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

Source : OMS (2005)

**ANNEXE 4 : CONVENTIONS ET TEXTES REGLEMENTAIRES SUR LES PESTICIDES**

**- Au niveau international**

***Le code international pour l'utilisation et la distribution des pesticides de la FAO.***

Ce code a servi de base aussi bien à l'élaboration de la réglementation commune aux Etats membres du CILSS sur l'homologation des pesticides qu'à la prise de décision au niveau national. Il stipule en son article 6.1.1 que « Les gouvernements doivent introduire les lois nécessaires pour la réglementation des pesticides et prendre des dispositions pour assurer leur application effective (...) » (FAO, 2002).

***La convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POP)***

Le Burkina Faso a signé et ratifié cette convention respectivement le 23 mai 2001 et le 20 juillet 2004. Elle est relative à la production et l'utilisation des Polluants Organiques Persistants (POP).

***La convention de Rotterdam***

Cette convention vise à établir une responsabilité partagée entre les pays exportateurs et importateurs de produits agro-chimiques toxiques. Elle vise à supprimer les produits chimiques dangereux, objets de commerce international avant qu'ils ne se manifestent. Cette convention a été signée et ratifiée par le Burkina Faso le 10 septembre 1998.

***La convention de Bâle et de Bamako relative au contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination***

Ces deux conventions signées et ratifiées par le Burkina Faso respectivement le 20 mars 1996 et le 04 novembre 1999 portent sur la réduction de la circulation des déchets dangereux entre les pays, notamment entre les pays développés et les pays en développement(PED).

**- Au niveau sous régional**

***Le Comité Sahélien des Pesticides***

L'intensification de l'agriculture au sahel, nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire, peut augmenter l'utilisation des intrants chimiques comme les pesticides (Réglementation commune aux Etats membres du CILSS, version révisée 1999). Afin de s'assurer que les différents

pesticides utilisés dans les pays du sahel soient efficaces et ne posent pas de risques pour l'homme et l'environnement, les Etats membres du CILSS dont le Burkina Faso ont signé en 1992 "la Réglementation commune aux Etats membres du CILSS sur l'homologation des pesticides". L'homologation commune est applicable aux pesticides et bio-pesticides. Le CSP, organe d'exécution de la réglementation commune a été créé en 1992.

Il évalue les dossiers d'homologation soumis par les firmes phytopharmaceutiques et délivre des Autorisations Provisoires de Vente (APV)

- *Au niveau national*

***La Commission Nationale de Contrôle des Pesticides (CNCP)***

Conformément à la réglementation commune aux Etats membres du CILSS, le Burkina Faso, tout comme les autres Etats membres, doit disposer d'une structure autonome d'homologation des pesticides. C'est ainsi qu'en août 2000, le Burkina Faso a créé la Commission Nationale de Contrôle des Pesticides (CNCP) par décret (décret n°98-472/PRES/PM/AGRI). Elle est chargée d'appliquer au niveau national les décisions du CSP. La CNCP a pour mission entre autres d'informer/sensibiliser les acteurs (distributeurs de pesticides, producteurs) ,de suivre et d'évaluer les recommandations et résolutions du CSP , d'étudier les dossiers d'agrément et de vente, d'importation, de distribution à titre gratuit et les prestations portant sur les pesticides ; de suivre et d'évaluer la réglementation sur les pesticides au Burkina Faso et d'émettre des avis sur les questions liées à la pollution due aux pesticides et à la gestion des pesticides périmés.

- **Au niveau national**

**Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques**

***Textes de référence***

En 1992 le Burkina Faso adopte la Réglementation Commune du CILSS sur l'homologation des pesticides. Au regard de l'article 23 de ladite règlementation, il a été pris deux (02) lois et leurs textes d'application.

- 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 ;

- Décret N°98-481/PRES/PM/MCIA/AGRI du 09 décembre 1998 fixant les conditions de délivrance de l'agrément pour l'importation, la vente, la mise en vente, la détention, la distribution à titre gratuit ou les prestations de services portant sur les pesticides ;

#### **Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie.**

##### *Textes de référence*

- La Loi N°005/97/ADP du 30 janvier portant code de l'environnement au Burkina Faso ;
- Le Décret N°2001-185 /PRES/PM/MEE du 07 mai 2001 portant fixation des normes de rejets de polluants dans l'air, l'eau et le sol ;
- Le Décret N°98-322/PRES/PM/MEE/MCIA/MEM/MS/MEM/MATSMETSS/MEF du 28 juillet 1998 portant condition d'ouverture et de fonctionnement des établissements dangereux, insalubres et incommodes.

#### **Ministère de la Santé**

##### *Textes de référence*

- Le décret N°99-377/PRES/PM/MS portant création du Laboratoire National de Santé Publique (LNSP)
- L'Arrêté N°2002/ MS /MAHRH/MECV/MFB/MCPEA fixant modalités de contrôle de laboratoire des pesticides et assimilés avant mise en consommation.

#### **Ministère du Commerce, de la Promotion de l'Entreprise et de l'Artisanat**

##### *Textes de référence*

- Le Décret N°94-014/PRES/PM/MICM/MFPL du 06 janvier 1994 portant institution d'un certificat National de Conformité des produits destinés à la consommation au Burkina Faso ;
- L'Arrêté 93-005/MIC/MFPL du 18 janvier 1993 fixant les caractéristiques des pesticides aérosols ;
- L'Arrêté N°2000-025/MCIA/MEF du 17 mai 2000 portant fixation de la liste des produits soumis au Certificat National de Conformité.

### **Autres départements ministériels**

Il existe d'autres départements dont les activités contribuent à un meilleur contrôle et inspection des pesticides. Il s'agit notamment du :

#### **Ministère des Finances et du Budget**

Les agents de douanes relevant dudit ministère ont autorité de bloquer les pesticides aux postes frontaliers pour permettre le contrôle par les services compétents.

#### **Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation**

Les forces de l'ordre relevant dudit ministère interviennent dans la lutte contre la fraude et la contrefaçon.

**ANNEXE 5 : Fiche d'enquête**

**FICHE D'ENQUETE N ° :**

**DATE :** .....

**IDENTIFICATION DE L'ENQUETE**

Nom : .....

Prénom(s) : .....

Sexe :  Masculin

Féminin

☎ Contacts : .....

/ .....

Superficie (ha) : .....

Position par rapport aux berges (m) : .....

Niveau d'instruction :

Non Scolarisé

Scolarisé

Alphabétisé

**I. INFORMATIONS TECHNIQUES**

1. Quel nombre de campagnes faites-vous par an ? .....

2. Quelles sont les spéculations produites sur le site ? .....

3. Quels types et quelles quantités de produits phytosanitaires utilisez-vous par campagne ?

Nom Commercial	Type de pesticides	Matières actives	Qté /Campagne & date péremption
1. ....	.....	.....	.....
2. ....	.....	.....	.....
3. ....	.....	.....	.....
4. ....	.....	.....	.....
5. ....	.....	.....	.....
6. ....	.....	.....	.....
7. ....	.....	.....	.....

4. Quels types d'engrais utilisez -vous par campagne ?

NPK Quantité /Campagne : .....

Fumure Organique Quantité /Campagne : .....

Autres Quantité/Campagne : .....

## II. SOURCES D'APPROVISIONNEMENT

5. Quelle est votre source d'approvisionnement en pesticides ?

Boutiques agréées Marchands ambulants Autres (à spécifier)

.....

.....

6. Quelle est votre source d'approvisionnement en engrais ?

Boutiques agréées Marchands ambulants Autres (à spécifier)

## III. MODES D'UTILISATION

7. Pensez-vous connaissance des prescriptions d'utilisation de chaque produit ?

Oui / Non

Sinon pourquoi ? .....

.....

.....

8. Lisez-vous la date de péremption des produits que vous utilisez ?

Oui / Non

9. Quels équipements de protection individuelle (EPI) utilisez-vous lors de l'utilisation des produits ?.....

.....

## IV. GESTION DES DECHETS PHYTOSANITAIRES.

10. Quel traitement réservez-vous aux emballages vides des produits phytosanitaire ?

Jeter OÙ : .....

Bruler OÙ : .....

Réutiliser Si oui à quelle fin : .....

## V. RENFORCEMENT DE CAPACITE

11. Avez déjà bénéficié d'une formation sur les intrants agricoles ?

Oui /  Non

12. Si Oui par qui ?

Service étatique (à spécifier)

Coopérative

Autres

.....

.....

13. Donnez les thèmes des formations reçues :

14. Etes-vous au courant de l'existence de lois qui régissent l'utilisation des pesticides ?

Oui /  Non

Merci d'avoir répondu aux questions !

**ANNEXE 6 : Critère de classification des pesticides selon la solubilité, le Koc et la DT<sub>50</sub>**

Paramètres	Valeurs seuils	Qualitatif
Solubilité de l'eau (mg/l)	≤ 50	Faible
	[50-500]	Modéré
	≥ 500	Elevé

Valeurs de Koc			Risque de transport
Corg=0,1%	Corg =1%	Corg =10%	
< 1000	< 100	<10	Elevé
[1000 -10000]	[100-1000]	[10-100]	Modéré
> 10000	>1000	>100	Faible

Corg=teneur de sol en Carbone organique

Temps de demi vie (en jours)	Qualification de la vitesse de dégradation	Persistance
DT <sub>50</sub> < 36	Grande	Petite
36 ≤ DT <sub>50</sub> < 55	Moyenne	Moyenne
55 ≤ DT <sub>50</sub> < 108	Petite	Grande

**ANNEXE 7 : Paramètres physico-Chimiques, des substances actives des produits utilisés sur la plaine alluviale**

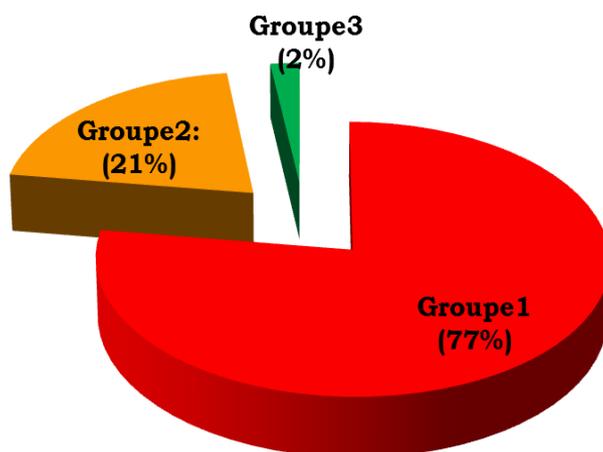
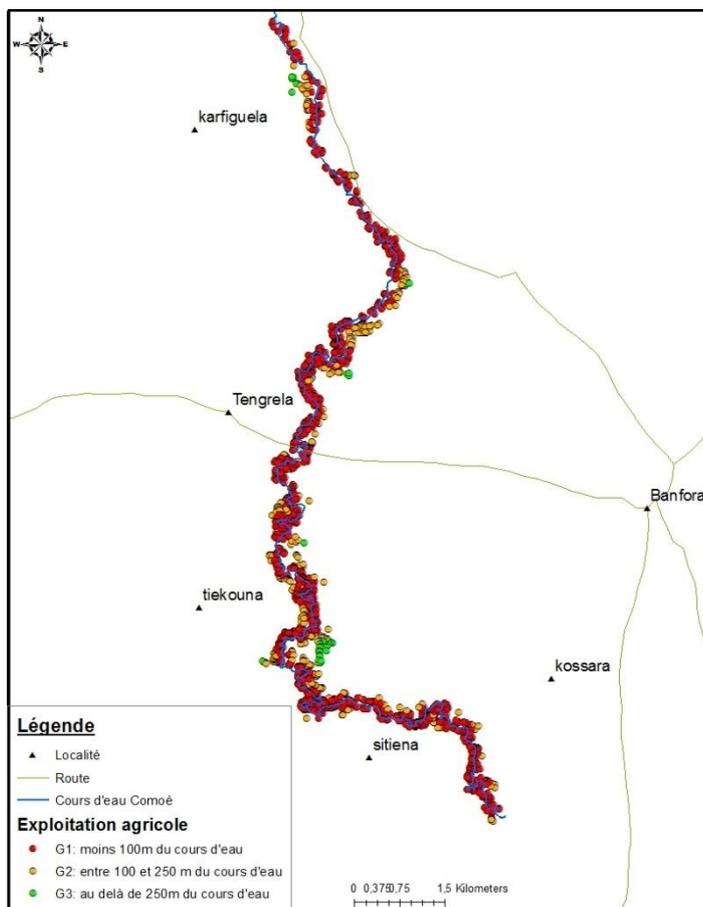
Substances actives	Koc	Sw (mg/l)	DT50 (jours) sol	Indice GUS
<b>Abamectine</b>	5638	1,21	1	-
<b>Acétamipride</b>	106,5	2950	2,9	0,71
<i>Bacillus thuringiensis</i>	5000	10	2,7	0,13
<b>Cyperméthrine</b>	85572	0,009	106,5	-1,89
<b>Deltametrine</b>	10240000	0,0002	13	-3,35
<b>Diuron</b>	920	36,5	78	1,96
<b>Glyphosate</b>	21699,44	10500	31,5	-0,5
<b>Imidaclopride</b>	225	610	174	3,69
<b>Indoxacarbe</b>	5125	0,2	19,5	0,37
<b>Lamda-Cyhalothrine</b>	157000	0,005	23	-1,63
<b>Mancozèbe</b>	997,5	11	60	1,78
<b>Methomyl</b>	25,2	55000	7	2,20
<b>Paraquat dichloride</b>	20004200	620000	4117,4	-11,93
<b>Profenofos</b>	2016	28	7	0,59

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

L'indicateur GUS (Groundwater Ubiquity Score) est un indicateur qui permet de définir une classe de mobilité pour une substance. Il ne prend en compte que la mobilité vers les eaux souterraines, il ne tient compte d'aucun autre processus tel que la mobilité vers les eaux de surface ou la toxicité. Si GUS est inférieur à 1,8 pour une substance, la substance est immobile.

S'il est supérieur à 2,8, la substance est mobile. Compris entre 1,8et 2,8 la substance est moyennement mobile.

ANNEXE 8 : Occupation des berges de la Comoé



Source : AEC,2015.

**Annexe 9** : quantité de pesticides utilisés sur la plaine en 2016 au titre de la campagne sèche

<b>Familles Chimiques dominantes</b>	<b>Nom</b>	<b>Quantité</b>
Alkylchlorophenoxyde	CALLIHERBE	3,5 L
Aminophosphanate glycine	ROUNDUP 360 K	45 L
Aminophosphanate glycine	FURADAN	14 KG
Aminophosphanate glycine	GLYPHADER 360 SL	12 L
Aminophosphanate glycine	GLYPHADER 75 SG	6 KG
Aminophosphanate glycine	KALACH	34,9 KG
Analogue de la néréistoxine	KART 500 SP	21 KG
Aryloxyphenoxypropionate	ECOCADY	7,6 L
Aryloxyphenoxypropionate	MALIK	10,5L
Avermectines	BOMEK 18 EC	24,75 L
Avermectines	CAÏMAN B 19	9,525 L
Avermectines	EMACOT 019 EC	12,55 L
Avermectines	EMACOT 050 WG	2,5 KG
Bacillus	BIOK 16	12 L
Carbamates	SAVAHALER WP	19,24 KG
Dérivés de l'urée	DIURALM 80 WG	7 KG
Dinitroanilines	ALLIGATOR	18,5 L
Dithiocarbamates	COGA 80 WG	5,5 KG
Néonicotinoïdes	THUNDER	14,5 KG
Organophosphorés	CYPERCAL P 230 EC	16,5 L
Organophosphorés	LAMBACAL P 212 EC	12 L
Organophosphorés	LAMBACAL P 648 EC	2 L
Organophosphorés	LAMBACAL P636 EC	1 L
Oxadiazines	AVAUNT	6,61 L
pyréthrinoïdes	CAPT 96	10,125 L
pyréthrinoïdes	CONQUEST C 176 EC	13,75 L
pyréthrinoïdes	DECIS 25 EC	58,75 L
pyréthrinoïdes	EMIR FORT 104 EC	12,75 L
pyréthrinoïdes	K-OPTIMAL	34,25 L
pyréthrinoïdes	PACHA 25 EC	24 L
Pyridines	GRAMOQUAT SUPER.	13 L

**ANNEXE 10 : Valeurs de perméabilité selon Castagny,1992.**

$K(m/s)$		$10^1$	$10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
GRANULOMETRIE	homogène	Gravier pur		Sable pur	Sable très fin		Silt	Argile						
	variée	Gravier gros et moyen	Gravier et sable		Sable et argile-Limons									
DEGRES DE PERMEABILITE		TRES BONNE			BONNE		MAUVAISE				NULLE			
TYPES DE FORMATIONS		PERMEABLES					SEMI-PERMEABLES					IMPER.		

limites conventionnelles

**ANNEXE 11: Niveaux statiques moyens de 2013 à 2016**

<b>Micro piézomètres</b>	<b>Longitudes (UTM)</b>	<b>Latitudes (UTM)</b>	<b>Z_DGPS (m)</b>	<b>NS (m)</b>
PzRd1	311882	1185511	282,423	1,08
PzRg1	303433	1167480	261,851	1,4
PzRd2	310800	1185026	286,39	0,5
PzRg2	305107	1166189	255,454	1,9
PzRd3	303530	1166951	261,722	1,65
PzRg3	305266	1165804	257,759	2,10
PzRd4	305116	1165642	256,895	1
PzRg4	305548	1158702	262,8	1,17
PzRd5	304917	1165493	258,04	1,74
PzRg5	305425	1158951	262,679	1,4
PzRd6	304635	1165085	257,679	1,5
PzRd7	305508	1158610	260,651	0,5
PzRd8	305076	1166100	256,103	1,3
PzRg 6	301389	1177844	277,611	1,13
PzRg 7	301400	1177708	278,075	0,94
PzRg 8	301255	1177190	275,921	1,28
PzRg 9	301151	1176656	273,15	1,58
PzRg 10	301271	1175859	269,348	1,29
PzRd 9	301373	1175677	268,718	1,12
PzRd 10	300994	1175855	268,727	0,99
PzRd 11	300760	1175819	268,253	0,66
PzRd 12	300857	1176323	272,013	1,44
PzRd 13	300908	1176709	270,763	1,53
PzRd 14	301066	1177117	273,813	1,53
PzRd 15	300942	1177751	280,201	1,55
PzRd 16	300492	1185484	286,615	2,22
PzRd 17	300566	1185220	286,802	1,41
PzRd 18	300974	1184778	281,557	1,54
PzRd 19	300947	1184788	281,557	1,19
PzRg 11	300950	1185396	283,562	2,01
PzRg 12	301006	1185091	282,332	1,85
PzRg 13	301160	1184854	283,797	1,78
PzRg 14	301062	1184738	280,544	1,64
PzRg 15	301264	1184540	281,773	2,10
PzRg 16	301555	1184347	280,434	1,80
PzRg 17	301680	1183938	279,075	1,23
PzRd 20	301196	1184276	280	1,94
PzRd 21	301484	1184167	284,243	2,16

<b>PzRd 22</b>	301361	1183878	282,601	1,39
<b>PzRd 23</b>	301484	1183159	281,593	1,61
<b>PzRd 24</b>	301866	1182533	282,057	0,89
<b>PzRd 25</b>	302565	1181508	280,498	0,69
<b>PzRd 26</b>	302756	1181280	279,871	0,92
<b>PzRd 27</b>	302805	1180951	280,479	1,19
<b>PzRg 18</b>	301604	1183468	278,499	1,39
<b>PzRg 19</b>	301907	1182794	278,837	1,79
<b>PzRg 20</b>	302181	1182217	279,95	1,77
<b>PzRg 21</b>	302477	1182053	278,852	0,83
<b>PzRg 22</b>	303003	1181408	279,873	0,97
<b>PzRd 28</b>	304360	1172005	279	1,51
<b>PzRd 29</b>	304429	1170912	278,08	1,31
<b>PzRd 30</b>	304109	1170514	278,39	1,74
<b>PzRd 31</b>	307260	1181281	279	1,03
<b>PzRd 32</b>	306985	1181556	278,61	0,85
<b>PzRd 33</b>	306867	1181373	278,56	0,72
<b>PzRd 34</b>	306698	1181344	278,37	0,57
<b>PzRd 35</b>	306737	1181314	278,21	1,86
<b>PzRg 23</b>	304443	1171997	278,87	1,73
<b>PzRg 24</b>	303702	1169049	280,8	1,40
<b>PzRg 25</b>	303446	1169538	281,18	1,44
<b>PzRg 26</b>	303554	1169898	280,25	1,08
<b>PzRg 27</b>	304686	1170561	278,8	1,16
<b>PzRg 28</b>	304641	1170410	280,16	0,99
<b>PzRg 29</b>	307207	1181234	278,51	1,13
<b>PzRg 30</b>	307051	1181236	278,3	0,74
<b>PzRg 31</b>	306937	1181116	278,35	0,83
<b>PzRg 32</b>	306802	1181185	279	0,83
<b>PzRg 33</b>	306858	1181298	278,93	0,70
<b>PzRg 34</b>	303487	1169004	280,05	1,86

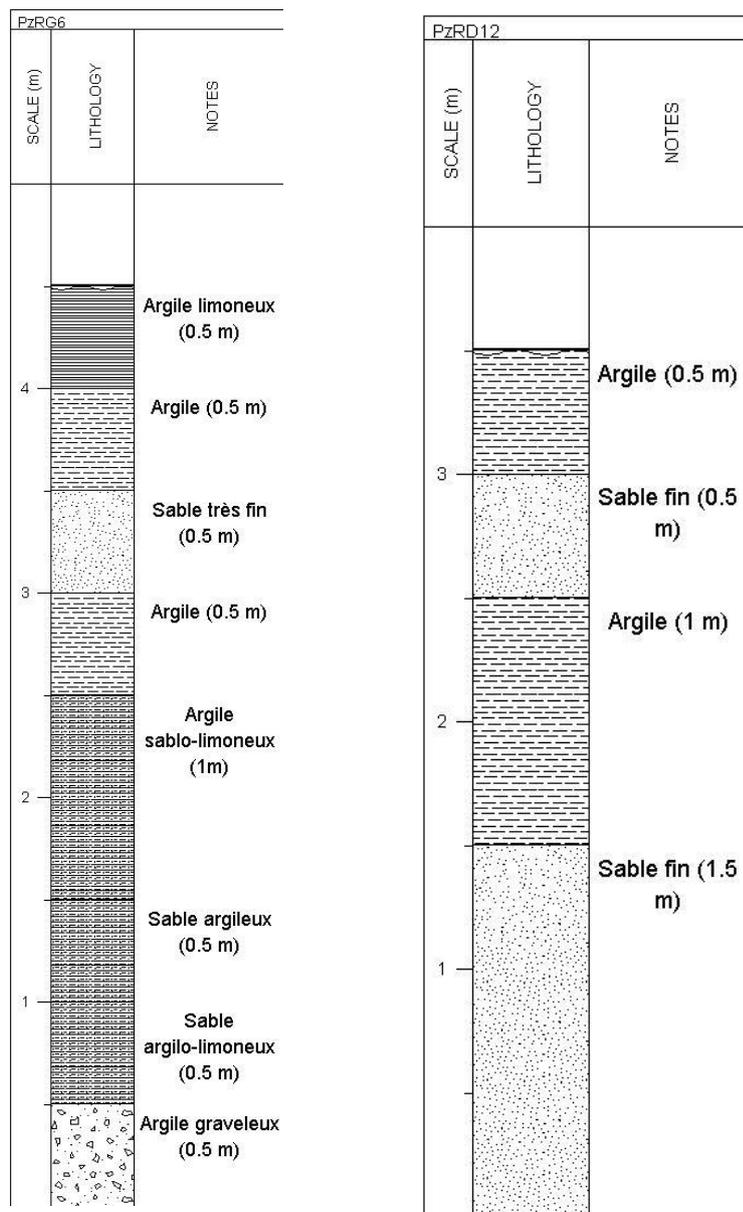
Source : BD, PADI BF101

**Annexe 12 : Conductivités Hydrauliques (Bétan N.,2014)**

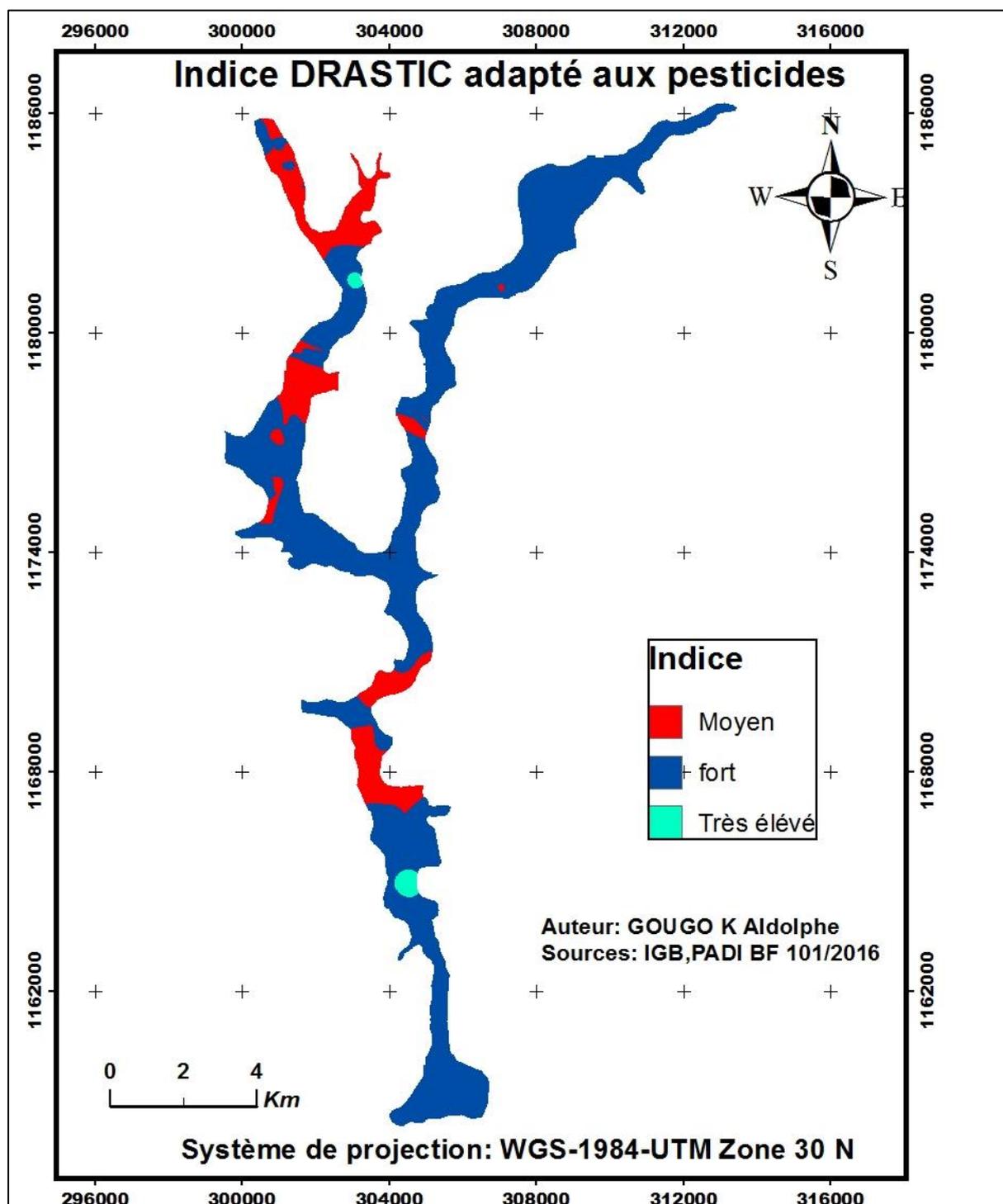
Lieux	Micro piézomètres	K (m.s <sup>-1</sup> )	
		Formule de Hvorslev	Méthode de Bouwer et Rice
<b>Karfiguéla</b>	PZRG12	5,05E-04	1,27E-04
	PZRG11	9,38E-04	2,29E-04
	PRG10	5,33E-04	1,33E-04
	PZRG7	6,22E-04	1,58E-04
	PZRG6	3,77E-04	9,53E-05
	PZRG2	1,84E-03	4,31E-04
	PZRG5	1,70E-04	1,37E-05
	PZRG4	1,20E-04	3,04E-05
	PZRG13	1,24E-04	3,06E-05
	PZRG9	2,21E-04	5,63E-05
	PZRG3	2,41E-05	5,51E-06
	PZRD4	1,42E-04	3,60E-05
	PZRD3	1,88E-06	4,78E-07
	PZRD2	4,11E-06	1,05E-06
	PZRD8	1,26E-05	3,21E-06
	PZRD9	1,27E-04	3,22E-05
	PZRD10	2,95E-06	7,55E-07
	PZRD11	7,20E-05	1,83E-05
PZRD12	6,60E-05	1,68E-05	
PZRG1	2,04E-07	5,26E-08	
PZRD13	1,36E-04	3,44E-05	
<b>Diarabakoko</b>	PZRGX5	1,29E-05	1,06E-05
	PZRGX4	2,45E-06	6,14E-07
	PZRD7	9,75E-07	2,39E-07
<b>Tengrela</b>	PZRGA	3,96E-08	9,74E-09
	PZRGB	9,01E-05	2,27E-05
	PZRGD	2,66E-04	6,24E-05
	PZRGE	7,48E-05	1,90E-05
	PZRGF	5,23E-05	1,30E-05
	PZRDA	1,93E-04	4,31E-05
	PZRDB	4,84E-05	1,22E-05
	PZRDC	5,78E-05	1,50E-05
	PZRDD	8,63E-05	1,93E-05
	PZRDE	7,22E-06	1,74E-06
	PZRDF	1,57E-04	3,32E-05
PZRDG	8,43E-05	2,16E-05	
<b>Banfora Nord</b>	PZRD2	3,82E-05	9,80E-06
	PZRD1	1,45E-04	3,75E-05

<b>Siniena</b>	PZRGX3	1,50E-07	3,84E-08
	PZRGX2	7,15E-05	1,84E-05
	PZRDX8	3,54E-07	9,20E-08
	PZRDX4	2,63E-05	6,83E-06
	PZRDX5	6,43E-05	1,66E-05
	PZRDX6	2,84E-05	7,37E-06
	PZRDX3	6,93E-05	1,67E-05
	PZRGX1	2,30E-05	5,67E-06

**ANNEXE 13 : Logs de forage**



ANNEXE 14 : Indice DRASTIC adapté aux pesticides



**ANNEXE 15 : Pesticides utilisés sur la plaine de Karfiguéla**

Formulation commerciale	Domaine d'application	Types de pesticide	Matières actives/dose	Classes de Toxicité	Famille Chimique	Statut
<b>ALLIGATOR</b>	Maïs	H	Pendimethaline (400g/l)	III	Dinitroanilines	Homologué
<b>AVAUNT</b>	Cotonnier	I	Indoxacarbe (150g/l)	III	Oxadiazines	Homologué
<b>BIOK 16</b>	CM	I	Bacillus thuringensis var	U	Bacillus	Homologué
<b>BOMEK 18 EC</b>	CM	I	Abamectine (18g/l)	II	Avermectines	Homologué
<b>CAÏMAN B19</b>	Cotonnier	I	Emamectine (19,2g /l)	II	Avermectines	Homologué
<b>CALLIHERBE</b>	Riz	H	Diméthylammonium	II	Alkylchlorophenoxyde	Homologué
<b>CAPT 96</b>	CM	I	Acétamipride (24g/l) cyperméthrine(72g/l)	II	Néonicotinoïdes, pyréthrinoïdes	Homologué
<b>COGA 80 WG</b>	CM	F	Mancozèbe (800g/kg)	III	Dithiocarbamates	Obsolète
<b>CONQUEST C 176 EC</b>	Cotonnier	I	Acétamipride (32g/l) cyperméthrine(144g/l)	II	Néonicotinoïdes, pyréthrinoïdes	Homologué
<b>CYPERCAL P 230 EC</b>	Cotonnier	I	Cyperméthrine (30g/l), profenofos (200g/l)	II	Pyréthrinoïdes, Organophosphorés	Homologué
<b>DECIS 25 EC</b>	CM	I	Deltametrine (25g/l)	II	Pyréthrinoïdes	Homologué
<b>DIURALM 80 WG</b>	Cotonnier	H	Diuron (800g/kg)	III	Dérivés de l'urée	Homologué
<b>ECOCADY</b>	CM	H	Haloxypop-R-méthyl (104g/l)	III	Aryloxyphenoxypropionate	Non Homologué
<b>EMACOT 019 EC</b>	Cotonnier	I	Emamectine benzoate (19g/l)	II	Avermectines	Homologué
<b>EMACOT 050WG</b>	Cotonnier	I	Emamectine benzoate(50g/kg)	II	Avermectines	Homologué
<b>EMIR FORT 104 EC</b>	Cotonnier	I	Cyperméthrine (72g/l) Acétamipride (32g/l)	II	Pyréthrinoïdes, néonicotinoïdes	Homologué
<b>FURALAN</b>	CM	H	Glysophate (480g/l)	III	Aminophosphonates glycine	Homologué
<b>GLYPHADER 360 SL</b>	Cotonnier	H	Glysophate (360g/l)	III	Aminophosphonates glycine	Obsolète
<b>GLYPHADER 75 SG</b>	CM	H	Glysophate (750g/kg)	III	Aminophosphonates glycine	Obsolète
<b>GRAMOQUAT</b>		H	Paraquat chloride (276g/l)		Pyridines	Non Homologué
<b>K-OPTIMAL</b>	CM	I	Lamda-cyhalothrine (150g/l), Acetamipride (20g/l)	III	Pyréthrinoïdes, néonicotinoïdes	Obsolète
<b>KALACH</b>	CM	H	Glysophate (360g/l)	III	Aminophosphonates glycine	Homologué
<b>KART 500SP</b>	CM	I	Cartap (500g/kg)	III	Analogue de la néréistoxine	Obsolète

<b>LAMBACAL P212EC</b>	Cotonnier	I	Lamda-cyhalothrine (12g/l), profenofos(200g/l)	II	Pyréthroïdes, Organophosphorés	Homologué
<b>LAMBACAL P636EC</b>	Cotonnier	I	Lamda-cyhalothrine (36g/l), profenofos(600g/l)	II	Pyréthroïdes, Organophosphorés	Homologué
<b>LAMBACAL P648EC</b>	Cotonnier	I	Lamda-cyhalothrine (48g/l), profenofos(600g/l)	II	Pyréthroïdes, Organophosphorés	Homologué
<b>MALIK</b>	Cotonnier	H	Haloxypop-R-méthyl (108g/l)	III	Aryloxyphenoxypropionate	Homologué
<b>PACHA 25 EC</b>	CM	I	Lamda-cyhalothrine (15g/l) Acétamipride (10g/l)	II	Pyréthroïdes, néonicotinoïdes	Obsolète
<b>ROUNDUP 360K</b>	CM	H	Glyosphate (360g/l)	III	Aminophosphanates glycine	Homologué
<b>SAVAHALER WP</b>	CM	I	Methomyl (250g/kg)	II	Carbamates	Obsolète
<b>THUNDER</b>	CM	I	Imidaleopride (100g/l) betacyflutrine (45g/l)	II	Néonicotinoïdes, Pyréthroïdes	Homologué

Légende : **I**=insecticide ; **H**=Herbicide ; **F**=Fongicide (Annexe 2) **CM**=Cultures maraîchères.