

République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

**UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA**



Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département d'écologie et environnement

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Ecologie et environnement

Option : Ecologie fondamentale et appliquée

**THEME**

**ESTIMATION DE LA VULNERABILITE DES EAUX  
SOUTERRAINES A LA POLLUTION AGRICOLE EN  
ZONE SEMI-ARIDE : CAS DE LA PLAINE DE  
F'KIRINA (OUM EL BOUAGHI – ALGÉRIE)**

Présenté par :


- BOUCHEMA Nadir
- GHEZAL Abdelhamid

Soutenu publiquement le 20/06/2018 devant le jury :

- ❖ Président : **AOUIDANE Laiche** M.C.B (Université Abbès Laghrour Khenchela)
- ❖ Promoteur : **BOULABEIZ Mehrez** M.C.B (Université Abbès Laghrour Khenchela)
- ❖ Examineur : **DALI Nawel** M.A.A (Université Abbès Laghrour Khenchela)

Année Universitaire : 2017/2018

# Remerciement



Nous remercions Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

Nous sommes ravis d'étendre nos sincères remerciements à l'égard de notre encadreur, Monsieur **BOULABEIZ Mahrez**, pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance, qui n'a ménagé aucun effort pour la bonne réussite de ces recherches.

Nous exprimons, aussi, toute nos gratitude et nos sincères

Remerciements aux membres du jury de la commission de suivie de ce travail notamment, Monsieur **AOUIDANE Laiche** et

Madame **DALI Nawel**.

A notre chef de Département Monsieur **LARBAA Rabah** pour ses efforts avec nous pour garantis les meilleurs conditions de formation,  
A tous nos enseignants qui nous ont initiés aux valeurs authentiques,  
en signe de notre profond respect.

## Dédicace

Au tout puissant Allâh A toi la louange, Ô la lumière des cieus ; de la terre et de ce qu'ils renferment. Gloire à toi de nous avoir assisté de ta lumière et en toute circonstance matin et soir.

Je tiens à dédier ce mémoire à

Aux deux êtres les plus chères au monde, **mon père** mon idole dans la vis, et À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,, À cet source de tendresse, de patience et de générosité,, À **ma mère** soleil de mes jours. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes frères : **Chaouki, Nacer, Abderahim, Anis, Abdelmouiz, Amine**

A mes sœurs : **Imane, Kawther, Ikram, Chaima.**

A ma tante **Atika** et son marie (Laarbi), mon Chère cousin **Ilyes** et ses frères et sœur.

A toute ma famille

A monsieur : **Kacha Abid** et toute sa famille

A ma future femme

A mes amis notamment : mon intime **Djamel, Zohir, Yacine, Smail, Imad, Ihab, Didin, Khaled, Tarek, Haïthem, ramdhane, rabie, hicham, nacer, moustafa, halim**

A ma chère collègue **Rayen**, tout ce que vous avez fait signifie Beaucoup pour moi

A toute l'équipe écologique **My Land**

A mon binôme **Abdelhamid** et toute la famille **Ghezzal.**

A toutes la promotion d'écologie fondamentale et appliquée

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce

Projet soit possible, je vous dis merci.

Bouchema Nadir

## Dédicace

Au tout puissant Allâh A toi la louange, Ô la lumière des cieux ; de la terre et de ce qu'ils renferment. Gloire à toi de nous avoir assisté de ta lumière et en toute circonstance matin et soir.

Je tiens à dédier ce mémoire à

A **ma Mère**, source de tendresse et d'amour, pour tous leur sacrifice, leur soutien et leur prière tout au long de mes études.

A mon frère **Imran** en même temps mon père qui ont toujours soutenus et qui ont fait tout possible pour nous aider.

A ma chère sœur **Laila** pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral.

A toute ma famille **Zouhir, Ameer, Mohammed, Mefteh, Aicha, Ilham, Chaima** pour leur appui et leur encouragement.

A mes amis notamment : **Abdelkader1, Abdelkader2, Abdelfateh, Zohir, Yacine, Djemel, Haythem, Hicham, Rabie, Nacer, Mosta.**

A ma chère collègue **Nesrin** et toute l'équipe écologique My Land.

A mon binôme **Nadir** et toute la famille **Bouchema.**

A toutes **la promotion** d'écologie fondamentale et appliquée et **Tout** qu'on collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci d'être toujours là pour moi, Que dieu leur accorde santé et prospérité.

GHEZAL Abdelhamid

α

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE ..... 01

## Partie bibliographique

### Chapitre 01 : Description de la zone d'étude

<b>1. Situation géographique et administrative.....</b>	<b>03</b>
1.1. Situation administrative.....	03
1.2. Situation géographique.....	03
<b>2. Cadre physique.....</b>	<b>04</b>
2.1. le relief.....	04
2.2. la plaine.....	06
2.3. le climat.....	07
2.4. la lithologie.....	07
<b>3. Activité économique.....</b>	<b>08</b>

### Chapitre 02 : Cadre géologique

<b>Introduction.....</b>	<b>09</b>
<b>1. Description stratigraphique et lithologique.....</b>	<b>10</b>
1.1. le Secondaire.....	11
1.1.1. le Trias.....	11
1.1.2. le jurassique.....	11
1.1.3. Le Crétacé basal.....	11
1.1.4. Le Barrémien et L'Aptien.....	11
1.1.5. L'Albien.....	12
1.1.6. Cénomaniens sup.....	12
1.1.7. Turonien.....	12
1.1.8. Sénonien.....	12
1.1.8.1. Coniacien.....	12
1.1.8.2. Santonien.....	12

1.1.8.3. Campanien.....	12
1.1.8.4. Maestrichtien.....	13
1.2. le Tertiaire.....	13
1.2.1. L'Éocène.....	13
1.2.2. Le Miocène.....	14
<b>1.3. Le Quaternaire.....</b>	<b>14</b>
<b>2. Les styles structuraux.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Les dépressions et fosses d'effondrement.....</b>	<b>15</b>
<b>4. Structure et tectonique.....</b>	<b>16</b>
<b>5. Formations aquifères.....</b>	<b>17</b>
5.1. Les formations de recouvrement.....	17
5.2. L'ensemble du réservoir des dépôts carbonatés.....	17
<b>Chapitre 03 : Revue de littérature</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>18</b>
<b>1. La pollution de l'eau.....</b>	<b>18</b>
1.1. La pollution des eaux.....	18
1.1.1. La pollution chimique.....	19
1.1.2. La pollution microbiologique.....	19
1.1.3. La pollution physique.....	19
1.2. La pollution agricole des eaux.....	19
<b>2. Vulnérabilité des eaux à la pollution.....</b>	<b>21</b>
2.1. Concepts de vulnérabilité.....	21
2.2. Différents types de la vulnérabilité.....	22
2.2.1. La vulnérabilité intrinsèque.....	22
2.2.2. La vulnérabilité spécifique.....	22
2.3. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité.....	22
2.3.1. La méthode « RISKE ».....	22
2.3.2. La méthode « GOD ».....	23
2.3.3. La méthode « DRASTIC ».....	23
2.3.4. La méthode « SINTACS ».....	25
2.3.5. La méthode SI « Susceptibility Index ».....	26
<b>3. Apport des SIG dans l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.....</b>	<b>27</b>

3.1. Les composants d'une SIG.....	28
3.1.1. Matériel.....	28
3.1.2. Logiciels.....	28
3.1.3. Données.....	28
3.1.4. Utilisateurs.....	28
3.1.5. Méthodes.....	29
3.2. Comment fonctionne un SIG.....	29
3.3. Références géographiques.....	29
3.4. Modèles de données vecteurs et raster.....	29
3.4.1. Le modèle vecteur.....	30
3.4.2. Le modèle raster.....	30

### **Partie expérimentale**

#### **Chapitre 04 : Cartographie et vulnérabilité**

<b>Introduction.....</b>	<b>31</b>
<b>1. Choix des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité.....</b>	<b>31</b>
<b>2. Méthodologie.....</b>	<b>32</b>
<b>3. Logiciels utilisés.....</b>	<b>33</b>
<b>4. Résultats et discussion .....</b>	<b>34</b>
4.1. La méthode « DRASTIC ».....	34
4.1.1. Détermination des paramètres du modèle « DRASTIC ».....	34
4.1.1.1. Profondeur de la nappe « D ».....	34
4.1.1.2. Recharge nette « R ».....	35
4.1.1.3. Nature de la zone saturée .....	37
4.1.1.4. Sol (Texture) « S ».....	38
4.1.1.5. La pente .....	39
4.1.1.6. Nature de la zone non saturée « I ».....	40
4.1.1.7. Conductivité hydraulique « C ».....	41
4.1.2. Calcul de l'indice « DRASTIC ».....	42
4.2. Le méthode SI (Susceptibility Index).....	45
4.2.1. Détermination des paramètres du modèle « SI ».....	45
4.2.1.1. Occupation du sol « OS ».....	45
4.2.2. Calcul de l'indice SI.....	46
<b>5. Comparaison des cartes de vulnérabilité obtenues.....</b>	<b>49</b>

<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>RESUME</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>ملخص</b>	

# LISTE DES FIGURES

N° de figure	Titre de figure	Page
<b>Chapitre 01 : Description de la zone d'étude</b>		
<b>Fig.01</b>	Situation administrative de la zone d'étude	<b>03</b>
<b>Fig.02</b>	Situation géographique de F'kirina	<b>04</b>
<b>Fig.03</b>	Réseaux hydrographiques du bassin de F'kirina	<b>05</b>
<b>Fig.04</b>	Relief de la zone d'étude	<b>06</b>
<b>Fig.05</b>	Sous bassin versant de Garaet El Tarf	<b>07</b>
<b>Chapitre 02 : Cadre géologique</b>		
<b>Fig.06</b>	Différents domaines de la chaîne alpine des Maghrébines	<b>09</b>
<b>Fig.07</b>	Carte géologique de la zone d'étude	<b>10</b>
<b>Fig.08</b>	Carte structurale et tectonique de F'kirina	<b>16</b>
<b>Chapitre 03 : Revue de littérature</b>		
<b>Fig.09</b>	Structure de l'information géographique.	<b>27</b>
<b>Fig.10</b>	Le SIG représente le monde réel	<b>29</b>
<b>Fig.11</b>	Notion de couches de données	<b>30</b>
<b>Chapitre 04 : Cartographie de la vulnérabilité</b>		
<b>Fig.12</b>	La démarche méthodologique proposée	<b>32</b>
<b>Fig.13</b>	Organigramme présentant les étapes de réalisation de la carte de vulnérabilité d'après les deux méthodes	<b>33</b>
<b>Fig.14</b>	la carte de profondeur de la nappe dans la zone d'étude	<b>35</b>

<b>Fig.15</b>	La carte recharge nette de la nappe dans la zone d'étude	<b>37</b>
<b>Fig.16</b>	La carte de la lithologie de l'aquifère dans la zone d'étude	<b>38</b>
<b>Fig.17</b>	La carte de la texture du sol de la zone d'étude	<b>39</b>
<b>Fig.18</b>	La carte de la topographie de la zone d'étude	<b>40</b>
<b>Fig.19</b>	La carte de la nature de zone non saturée de la zone d'étude	<b>41</b>
<b>Fig.20</b>	La carte de la conductivité hydraulique dans la zone d'étude	<b>42</b>
<b>Fig.21</b>	Carte de vulnérabilité de la nappe de la zone d'étude par la méthode DRASTIC	<b>44</b>
<b>Fig.22</b>	Comparaison statistique entre les degrés de vulnérabilité DRASTIC (en %)	<b>45</b>
<b>Fig.23</b>	La carte d'occupation du sol de la zone d'étude	<b>46</b>
<b>Fig.24</b>	Carte de vulnérabilité de la nappe de la zone d'étude par la méthode SI	<b>48</b>
<b>Fig.25</b>	Comparaison statistique entre les degrés de vulnérabilité SI (en %)	<b>49</b>
<b>Fig.26</b>	Comparaison des cartes de vulnérabilité obtenues	<b>50</b>

# LISTE DES TABLEAUX

N° de tableau	Titre de tableau	Page
<b>Chapitre 04 : Cartographie de la vulnérabilité</b>		
<b>Tab.01</b>	Méthodes et critères de vulnérabilité intrinsèque et spécifique proposés	<b>31</b>
<b>Tab.02</b>	Sources de données brutes et mode de traitement de chaque paramètre	<b>34</b>
<b>Tab.03</b>	Classes et notes retenues pour D	<b>43</b>
<b>Tab.04</b>	Classes et notes retenues pour R	<b>43</b>
<b>Tab.05</b>	Classes et notes retenues pour A	<b>43</b>
<b>Tab.06</b>	Classes et notes retenues pour S	<b>43</b>
<b>Tab.07</b>	Classes et notes retenues pour T	<b>43</b>
<b>Tab.08</b>	Classes et notes retenues pour I	<b>43</b>
<b>Tab.09</b>	Classes et notes retenues pour C	<b>43</b>
<b>Tab.10</b>	Poids attribués aux paramètres DRASTIC	<b>43</b>
<b>Tab.11</b>	Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité DRASTIC	<b>43</b>
<b>Tab.12</b>	Principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes.	<b>47</b>
<b>Tab.13</b>	Poids attribués aux paramètres SI	<b>47</b>
<b>Tab.14</b>	Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité SI	<b>47</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PSME	pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée
SIG	Système d'Information Géographique
SI	L'indice de susceptibilité
O E B	Oum Elbouagi
PNDA	Plan National de Développement Agricole
FNDRA	Fonds National de Régulation et de Développement Agricole
NW	Nord-Ouest
SW(SO)	Sud-Ouest
NE	Nord-Est
Dj	Djebel
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
PCSM	point Count Système Models
USEPA	U.S. Environnementals Protection Agency
NWWA	National Water Well Association
D	Depth (Profondeur)
R	Recharge
A	Aquifère
S	Soil (Sol)
T	Topography (Topographie)
I	La nature de la zone non saturée
C	Conductivité hydraulique
Iv	Indice de vulnérabilité
OS	Occupation du Sol
Is	L'indice de vulnérabilité selon la méthode SI

P	Précipitation
ETP	Evapotranspiration Potentiel
T	Température
Id	Indice Drastic
mm	Millimètre
S	Seconde

# **Introduction générale**

### Introduction générale

À l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, l'Algérie est en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m par habitant et par an (PNUD. 2009).

Il faudrait disposer entre 15 et 20 milliards de m<sup>3</sup> par an, en réservant 70% à l'agriculture, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante. Le changement climatique et la croissance urbaine et démographique attendus dans la région risquent d'aggraver la situation de stress hydrique qui frappe déjà la plupart des Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) depuis 2006.

Dans les régions arides et semi-arides, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces régions. En zones agricoles semi-aride comme F'Kirina au nord-est de l'Algérie, l'impératif d'augmenter la production afin de subvenir aux besoins alimentaires, impose l'intensification de l'irrigation et l'usage des produits agricoles (fertilisants et pesticides...). Ce qui favorise le lessivage des excédents des produits utilisés et leur transfert vers les eaux souterraines. La multiplication des activités industrielles, quant à elle, génère de multiples polluants de nature et de gravité très variées (substances toxiques, métaux lourds, etc.) menaçant ainsi la pérennité des systèmes environnementaux dans leur globalité.

La protection des eaux souterraines de la plaine de F'Kirina dans un cadre régionale selon une vision concertée, intégrée et globale s'avère impérative pour éviter leur contamination. La problématique de l'eau souterraine dans les régions aride et semi-aride est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.

Dès lors, la présente mémoire constitue une contribution, pour répondre à la problématique décrite avant, par l'élaboration des cartes de vulnérabilité à la pollution de la région de F'Kirina, elles peuvent guider les organismes de réglementation afin d'assurer une gestion globale de l'ensemble de la ressource dans la région. La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines permet d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type de polluant. Elle devrait en principe conditionner les plans

d'occupation des sols ou, du moins, permettre de cibler les zones où des mesures rigoureuses de protection devraient être adoptées.

### **Objectifs de la présente étude**

Ce travail a été réalisé dans le but d'établir des cartes de vulnérabilité à la pollution agricole suivant les méthodes paramétriques suivantes : la méthode DRASTIC standard (Aller., et al. 1987) avec sa classification classique et la méthode SI (Ribeiro. 2000). D'autre part, une comparaison statistique des résultats obtenus par les différentes méthodes a été effectuée. Les deux méthodes sont appliquées dans un environnement SIG sous ArcGis 10.1

### **Organisation de mémoire.**

Ce mémoire est organisé autour de 4 principaux chapitres, à savoir :

- Un chapitre concernant la description de la plaine de F'Kirina
- Un chapitre traite la géologie de la zone d'étude.
- Un chapitre concernant une synthèse bibliographique sur la notion de vulnérabilité, la définition de quelques méthodes de vulnérabilité et les systèmes d'information géographiques.
- Un chapitre majeur des considérations pratique, présentant la description de la méthode DRASTIC et SI ainsi qu'une interprétation des résultats obtenus des deux cartes de vulnérabilité, afin de faire une comparaison statistique des résultats obtenus par les différentes méthodes.

En dernier une conclusion générale et des recommandations.



# **Partie bibliographique**

# **CHAPITRE 01 :**

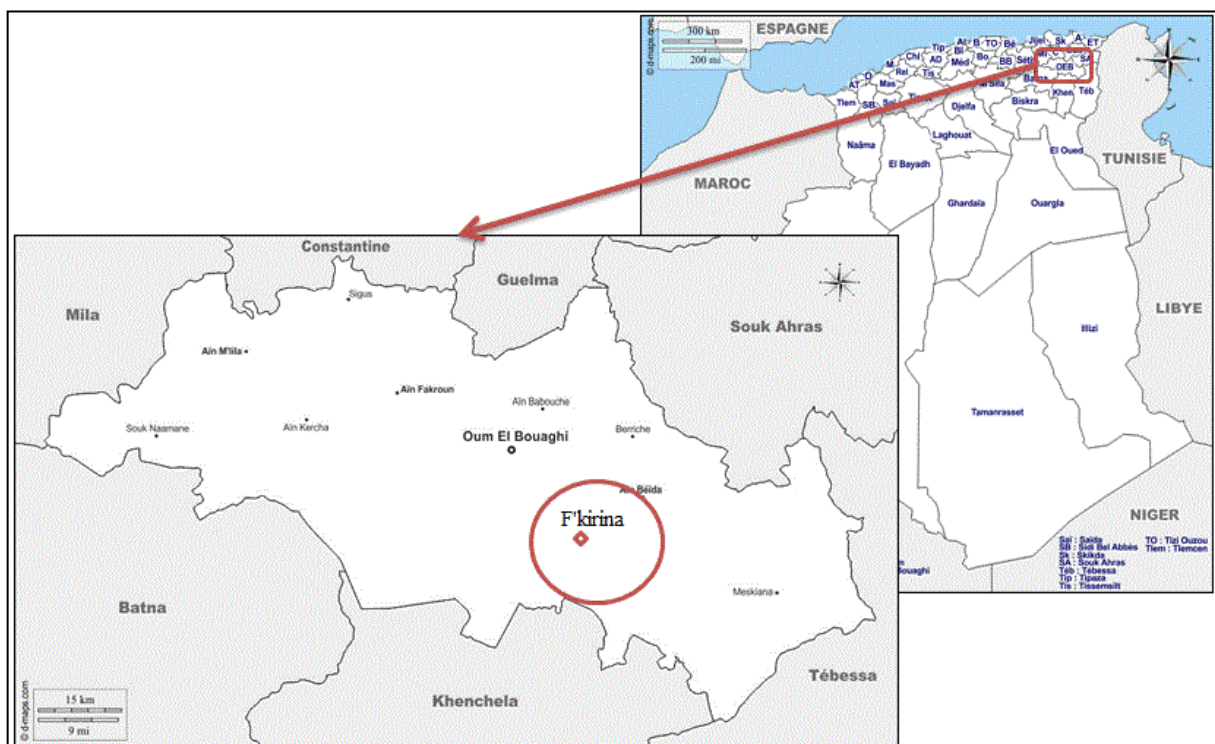
## **Description de la zone d'étude**

## 1. Situation géographique et administrative de F'kirina :

### 1.1. Situation administrative :

La commune de F'kirina est située à l'est de la wilaya d'Oum El Bouaghi (fig.01), elle est limitée par:

- **Au nord** : Ain Baida, la commune de Zorg et la commune de Berriche ;
- **Au sud** : La commune d'oued Nini ;
- **À l'est** : La commune de Eldjazia ;
- **À l'Ouest** : La commune d'O E B et Ain Zitoun. (Badaoui A., Benkelifa S. 2016).



**Figure 1:** Situation administrative de la zone d'étude.

### 1.2 Situation géographique :

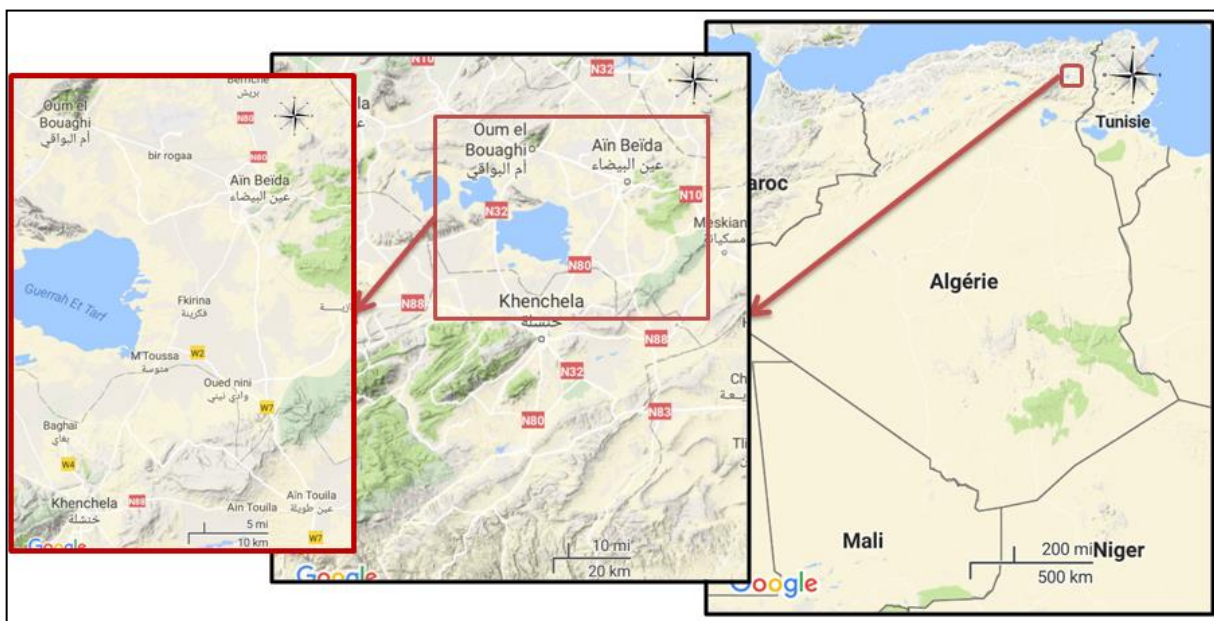
La plaine de F'kirina est située à l'Est du pays, à la limite des hautes plaines constantinoises, des monts du Mellegue, des monts des Harectas et de ceux de Nememchas sa superficie est de l'ordre de 650 km<sup>2</sup> (Fig.02).

Pour les limites naturelles, on distingue les zones suivantes:

- **Au nord** : la ligne de partage des eaux formé par le djebel El Galaa Kebira (1246 m), Djebel Ammamrat El Kebira (1203 m), et le djebel El Forne (1184).

- **Au Sud** : la ligne de partage des eaux formé par le djebel Boutakhma (1291m), djebel fedj Amer (1259m), et le Djebel Bou Tebina (1226m).
- **À l'est** : la ligne de partage des eaux formé par le djebel El Medjifla (1174m), le Djebel Fedjijet (1291m), et le Kef El Assa (1117m).
- **À l'ouest** : une vaste zone plate limite de hautes plaines constantinoises et par la GaraetTarf.

La plaine de F'kirina appartient au sous-bassin versant de GaraetTarf. Le sous-bassin versant de GaraetTarf d'une superficie de 2430 km<sup>2</sup>, appartient au bassin versant des hautes plaines Constantinoises (9578 km<sup>2</sup> de superficie). Il présente une dénivelée de 1269m, sa forme allongée, sa faible pente, la nature géologique des terrains d'affleurement, ses températures spécifiques et sa couverture végétale ; sont des paramètres qui favorisent l'évapotranspiration et l'infiltration sur le ruissellement. (Younssi H E. 2009).



**Figure 02** :Situation géographique de F'kirina (google maps).

## 2. Cadre physique :

### 2.1 Le relief :

Aux bordures de la plaine sont réparties plusieurs montagnes qui bordent la plaine à l'Est, au Nord et au Sud, leurs altitudes sont supérieures à 1000m.

Parmi ces montagnes, les plus importantes sont:

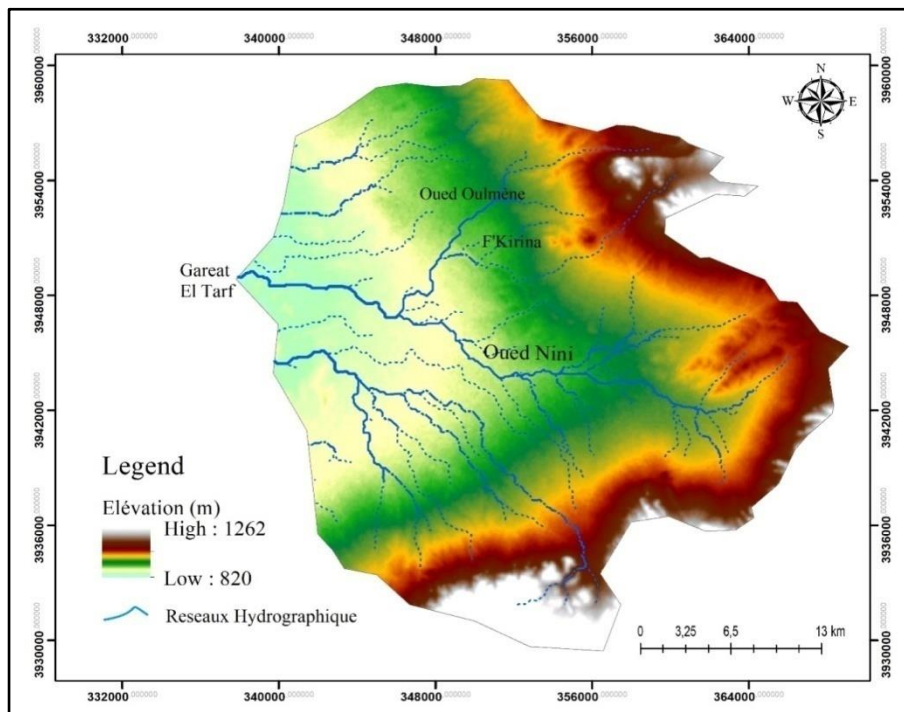
- Djebel Guern Ahmar (1200m);

- Djebel Fedjijet (1291m);
- Djebel Boutekhma (1349m);
- Djebel Djazia (1192m);
- Djebel Bardo (1110m);
- Djebel el Gala (1200m);
- Djebel el Zorge (1129m).

Donc il y'a une formation du réseau hydrographique à partir de ces massifs.

L'écoulement se fait général de l'Est vers l'Ouest, en direction de la sebkha de Garaet Tarf.  
Les trois oueds temporaires les plus importants sont :

- Oued Nini;
- Oued Oulmene;
- Oued Isfer.

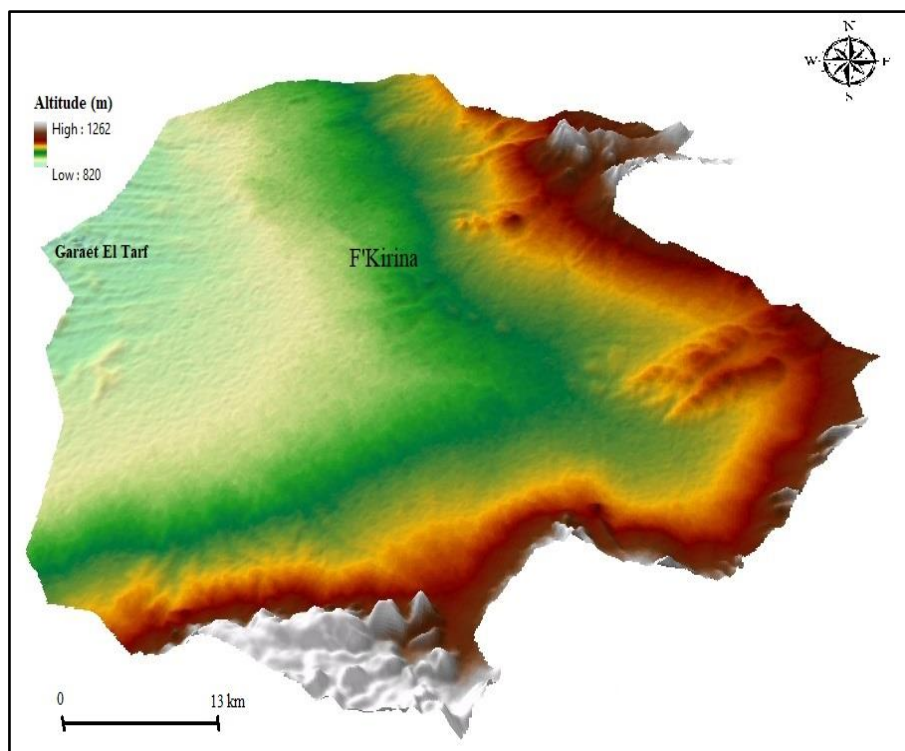


**Figure 03 :** Réseaux hydrographiques du bassin de F'kirina.

## 2.2 La plaine :

Avec des altitudes variant de 840 à 950 m, la surface est donc pratiquement planée, avec des pentes qui ne dépassent pas les 2% à l'Ouest et 7% à l'Est. La plaine est entièrement recouverte de formations plioquaternaires ou on distingue :

- Les éboulis à bloc : sont des grosses masses de calcaires situés au piémont des montagnes et qui proviennent des éboulements.
- Les alluvions : forment l'unique et restreinte de l'oued Nini.
- Les sols salés : ils sont dispersés dans la plaine, surtout on allant vers l'Ouest près de GaraetTarf.
- Les glacis : on distingue deux types de matériaux constituant les glacis, les uns d'âge récent : couvrant de très vastes surfaces, les autres d'âge ancien formé de croûtes calcaires et sont perchés par rapport aux surfaces précédentes.



**Figure 4 :** Relief de la zone d'étude.

### 2.3 Le climat :

Le climat de cette région est de type semi-aride froid et pluvieux en hiver- chaud et sec en été les périodes de printemps et d'automne sont courtes. Concernent la série de (1987 -2007) station d'Ain Baida (In Younssi H E. 2009) :

- les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 407.2 (mm).
- la température moyenne annuelle est de 16,5°C.
- l'évapotranspiration représente 81.80 % des précipitations 333.1 (mm).

### 2.4 La lithologie :

La région de F'kirina est constituée de formation ci-après du bas vers le haut on constate une couverture de terrain constitué essentiellement de calcite intercalant des couches plus minces de marne dure et d'argile.

Pour la reconnaissance de la nature lithologique et le comportement des sols sous-jacents, quatre essais de sondages carottés de profondeur d'intervention de 10m ont été réalisés, permettant à la fois une connaissance de la géométrie, de la stratigraphie et de la pétrographie des sols.

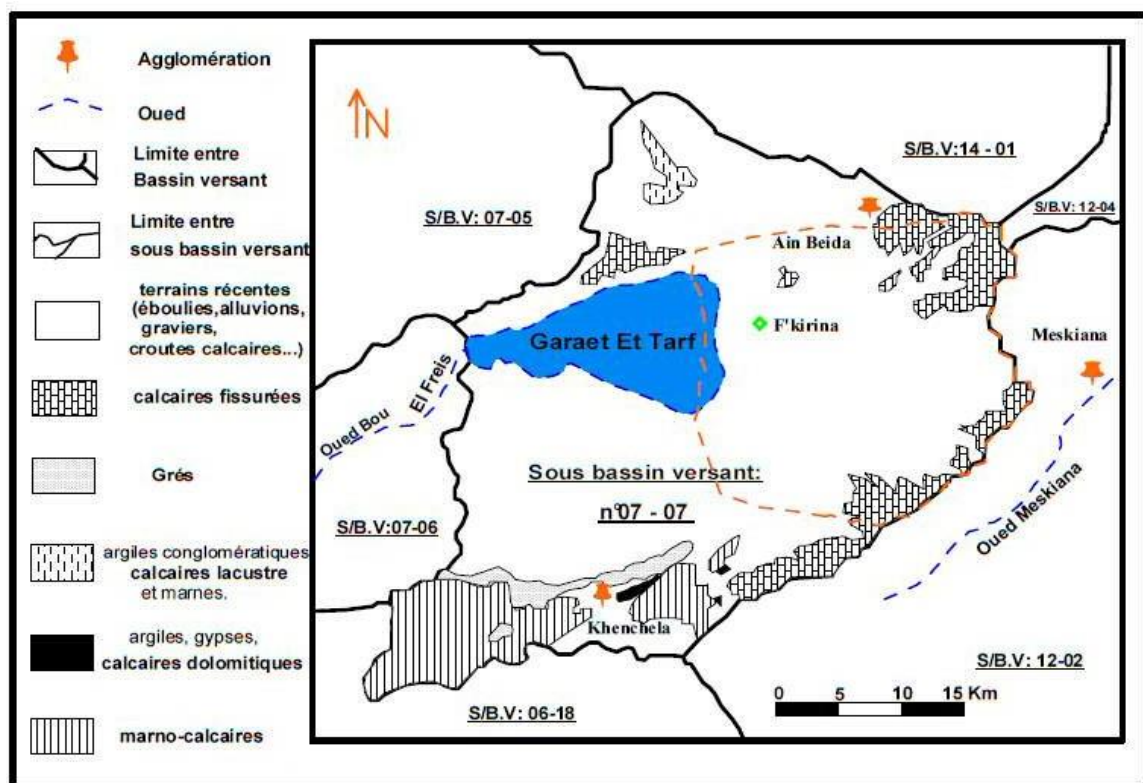


Figure 05: Sous bassin versant de Garaet El Tarf (In Younssi H E. 2009).

Les analyses lithologiques de F'kirina montrent que la quasi-totalité de la zone est composé de terre végétale et marne très calcaire friable. (Younssi H. 2009).

### 3. Activité économique :

La région de F'kirina, est en sa totalité une région à vocation agricole, principalement de céréaliculture notamment l'orge et le blé tendre et l'élevage du bétail.

Un autre domaine récemment introduit dans la région, est l'activité industrielle, avec la création des nombreuses usines concernant l'industrie légère telle que :

- Le complexe de produits textiles d'Ain Baida.
- L'usine de liège et de bois (S.N.L.B).
- L'usine de SONATRACH.

Cette petite zone industrielle exploite des ressources hydrauliques importantes.

Ces dernières années, le secteur de l'agriculture et de l'élevage a connu un épanouissement important suite au lancement des programmes de PNDA en 2000 et celui du FNRDA en 2001. Ces programmes ont provoqué l'extension des terres irriguées et multiplié les cycles culturaux.

# **CHAPITRE 02 :**

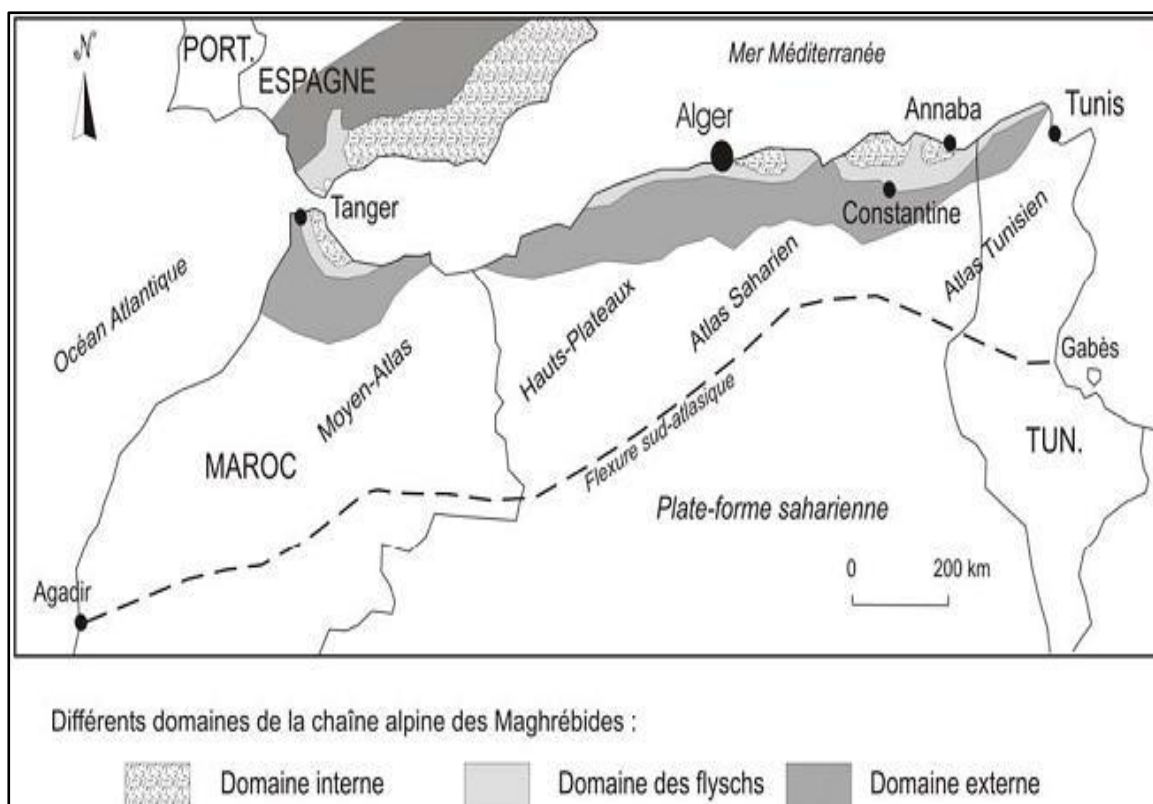
## **Cadre géologique**

## Introduction

La géologie du bassin de F'kirina a été étudiée en se référant aux anciens travaux géologiques, réalisés par de nombreux géologues chercheurs tels que : M.G.Betier et al. (1951), qui ont réalisé la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000.00, J M Vila. (1977) qui a réalisé la carte de Delaa, la carte de F'kirina, la carte d'Ain Beida au 1/50000, D Kuscer., et al. (1985), qui ont réalisé la carte de Meskiana au 1/50000 et S Dozet. (1985), qui a réalisé la carte d'El Aouinet au 1/50000.

L'étude géologique générale de la région de F'kirina. Basés sur les cartes géologiques aux 1:50.000 N°148 (Oum El Bouaghi), N°149(Ain Beida), N°176 (F'kirina) et N°204 (Ain Delaa).

La région d'étude appartient à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien (Fig. 06). Elle est caractérisée par de puissants dépôts méso-cénozoïques d'épaisseur (4000 à 5000 m). Compressées généralement de la direction et plus rarement au NW. Ces derniers sont percés en plusieurs endroits par des formations évaporitiques du Trias, et interrompus par des fossés d'effondrement (Othmanine. 1987).



**Figure 06** : Différents domaines de la chaîne alpine des Maghrébines (Othmanine. 1987).

1. Description stratigraphique et lithologique :

Les formations d'Âge secondaires et tertiaires sont localisées à l'extrême Est, au Nord-est et au Sud de la plaine de F'kirina. En ce qui concerne la plaine, elle est recouverte par le Quaternaire (Fig. 07).

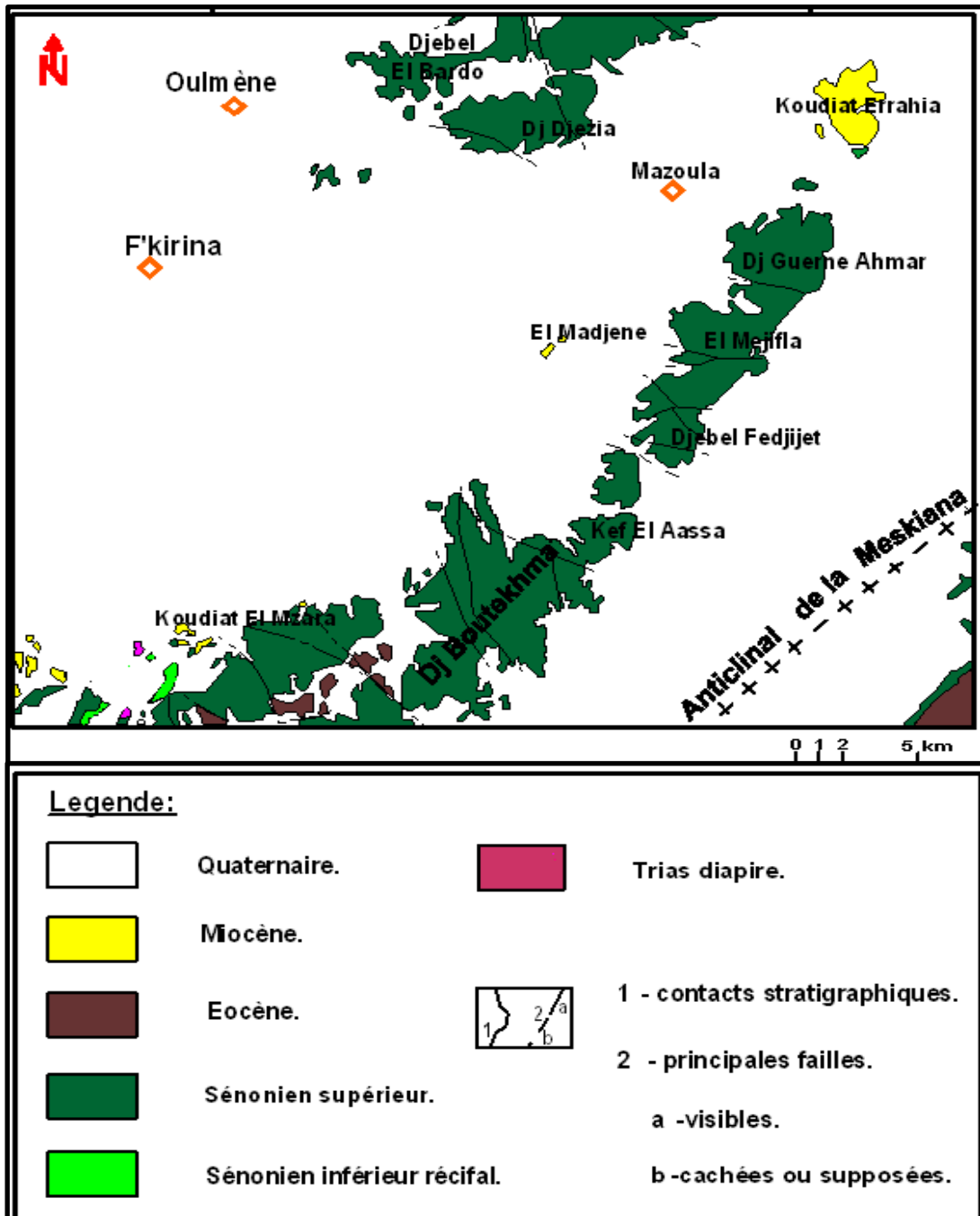


Figure 07 : Carte géologique de la zone d'étude (Younssi H E. 2009).

### 1.1) Le Secondaire :

Le Secondaire de cette région comprend des formations allant du Trias au crétacé supérieur.

#### 1.1.1) Le Trias :

Dans la zone d'étude, les formations triasiques sont représentées de façon très discontinue. Quelques affleurements du Trias ont été observés dans les zones Nord-est et Sud-ouest d'Ain Delaa et de F'kirina.

Dans les deux cas, ces affleurements sont très réduits et constituent vers le Nord-est leurs prolongements vers le Nord-est sont représentées par Djebel El Krouma et Knif (Nord de Khenchela).

Le matériel triasique rencontré en ces différents points présente régulièrement la même composition lithologique, faite d'argiles versicolores représentées par des dolomies sombres, rubanées et crypto cristallins, des cargneules finement gréseuses et des grès.

#### 1.1.2) Le Jurassique :

Aucun affleurement du jurassique n'apparaît dans la zone d'étude.

#### 1.1.3) Le Crétacé basal (Berriasien à Hauterivien) :

Le crétacé basal se retrouve rarement à l'affleurement.

#### 1.1.4) Le Barrémien et L'Aptien :

Ce crétacé inférieur a été reconnu :

- Dans l'axe Bou-Arif - Fedjoudj - Et-Tarf ;
- Dans la région de Khenchela (Djebel Pharaoun) ;
- À la limite Est de la feuille d'Ain Beida (Koudiat El Hadjel).
- **Le Barrémien sup.** : Il est composé de marnes grises noires schisteuses et de grès blanc fin argilo carbonatée à tendance quartzeuse. Son épaisseur est d'environ 80 m.
- **L'Aptien inf.**: Il est représenté par des marnes gris noir à intercalations de marnocalcaires gris. Son épaisseur est de 100 m.

- **L'Aptien sup.** : Il est formé de micrites et de biosparités et d'alternance de marnocalcaires, l'épaisseur atteint environ 300 m.

#### **1.1.5) L'Albien :**

Représenté par des marnes, des grès ferrugineux et des biosparités.

- **L'Albien sup. à Cénomanién inf.** : Composé par des marnes et des biomicrites grises.

#### **1.1.6) Cénomanién sup. :**

Il affleure dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida. Ce sont des marnes écrasées par la fracturation et des filons de calcite.

#### **1.1.7) Turonien :**

Représenté par des marnocalcaires avec des calcaires en plaquette à la base. Il affleure lui aussi dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida ou il est fortement fracturé.

#### **1.1.8) Sénonien :**

Du fait de l'importance de l'érosion antérieure au dépôt du Miocène marin, le Sénonien affleure de façon très irrégulière, il est très épais et atteint les 1200m à 2000m.

La partie supérieure de l'étage, formée régulièrement de calcaires massifs, donne des crêtes continues formant un des éléments caractéristiques de l'orographie de l'ensemble de la région. Les séries sénoniennes rencontrées sont essentiellement marnocalcaires et souvent très fossilifères. Vers le Nord-est de Khenchela, elles montrent une nette variation de faciès qui se poursuit jusqu'au Djebel El Bardo sous forme de calcaires béchiques, récifaux et bioclastiques.

##### **1.1.8.1) Coniacien :**

Alternances de marnes grises et de calcaires noduleux beiges ou ocre contenant par fois des grains de quartz; l'épaisseur de ce dernier est de centaine de mètres.

##### **1.1.8.2) Santonien :**

Alternances de calcaires noduleux et de marnes grises l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 150 mètres.

##### **1.1.8.3) Campanien :**

Le Campanien est constitué à la base par une barre de calcaires de 75 à 90 m d'épaisseur surmontée par des marnes grises ou beige et des alternances de marne et de marnocalcaires 60m.

#### 1.1.8.4) Maestrichtien :

Représenté par :

- **Le Maestrichtien Inf.** : Il est représenté par 40 m environ de marnes grises- beiges, suivies d'une alternance de marnes beiges et de biomicrites argileuses ocre.
- **Le Maestrichtien Sup.** : Ses niveaux déterminent la ligne principale des reliefs. Ils sont représentés par :
  - Des biomicrosparites grises, noduleuses, phosphatées et glauconieuses à passage marneuses ont la base, alors qu'au sommet ce sont des biomicrites gris blanchâtre, massives (cassure blanchâtre) à passer noduleuses et à rognons de silex, la puissance de cet ensemble est de 120m.
  - Une diminution de la puissance du Maëstrichtien supérieur du sud vers le Nord-est a signalé. La séquence inférieure du Maestrichtien à marnes et biomicrites argileuses est régulièrement homogène, sa partie supérieure, du sud au nord, change de faciès, les biomicrosparites périrécifales, massives, passent rapidement dans la région d'Ain Dalaa et de La Meskiana a des micrites crayeuses, au Dj. Taffrent (F'kirina), le toit du Maestrichtien est souligné par une surface ferrugineuse.

### 1.2 Le Tertiaire :

#### 1.2.1) L'Éocène :

La répartition de l'Éocène est irrégulière au sud (secteur d'étude) ou de rares témoins subsistent à la suite des érosions successives. Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de la Meskiana, à Garaet Saïd et au Djebel Taffrent où il affleure à la faveur de larges replis synclinaux.

Il s'agit des termes inférieurs de l'Éocène qui ne montent pas plus haut que l'Yprésien supérieur (du fait de l'érosion) et qui présentent une séquence marneuse et une séquence carbonatée séparées par une discordance légèrement gréseuse.

La série inférieure de l'Eocène qui paraît la plus complète se situe à 1 km au sud de la localité d'Ain Dalaa. Ainsi, au-dessus du toit raviné du Maestrichtien supérieur, viennent en concordance :

- 70 m de marnes gris verdâtre à la base ;
- Une alternance de marnes gris beige et de biomicrites finement gréseuses, beiges et noduleuses ;
- 80 m d'une alternance de micrites gris blanchâtres à nodules phosphatés et de biomicrites, blanchâtres souvent noduleuses à grains de phosphates à nombreux rognons de silex. On signale l'absence de l'oligocène.

### 1.2.2) Le Miocène :

Il est constitué de quatre faciès différents :

- **L'Aquitano-burdigalien** : Correspondant à la base du Miocène, il est discordant sur le Crétacé et est composé de conglomérats rouges dont l'épaisseur ne dépasse pas les 80 mètres ;
- **Le Langhien- Serravalien** : Peu épais, environ 40 mètres, et discordant, il est composé par des marnes, des biomicrites et des grès blancs ;
- **Le Tortonien gréseux** : (discordant sur des terrains allant du Sénonien à l'Albien). Composé de grès blancs grossiers en bancs avec rares intercalations argileuses. Cette formation à une puissance d'environ 300 mètres ;
- **Le Tortonien supérieur continental** : Environ 150 mètres d'épaisseur, il est représenté par des argiles silteuses de couleur beige et rouge et par des grès.

### 1.3 Le Quaternaire :

Il couvre la quasi-totalité de la plaine et est présenté par :

- **Les éboulis à bloc** : ces éboulis proviennent du démantèlement des corniches calcaires du Maestrichtien supérieur ;
- **Les alluvions actuelles ou récentes** : il s'agit de limons gris et des graviers, ces alluvions ont une extension limitée aux vallées de l'Oued Nini à l'Ouest et surtout de l'Oued Meskiana à l'extrême Sud-est de la région d'étude ;

- **Les sols salés de Sebka** : ils ont une extension de quelques hectares et ils sont observables au milieu de la vallée de l'Oued Meskiana ;
- **Les terres arables et les alluvions anciennes** : La partie occidentale de la région est recouverte de limons sombres, ils correspondent à des alluvions anciennes dont la morphologie est très plate ;
- **Les glacis polygéniques** : Ces glacis couvrent de très vastes surfaces, leur organisation en pente douce est tout à fait caractéristique, ils ravinent le cycle antérieur des glacis, caractérisés par des croûtes massives.

Il s'agit d'un nappage complexe à débris bien calibrés, parfois légèrement en croûtes, l'aspect est celui des croûtes calcaires rosâtres feuilletées ;

- **Les croûtes calcaires** : Ces formations sont perchées au-dessus des glacis polygéniques. Leurs aspects sont ceux de croûtes massives blanches, entaillées et karstifiées qui forment des surfaces taraudées, et des dépressions de formes variées. Le réseau hydrographique quaternaire a été influencé de façon considérable par les mouvements tectoniques du Miocène et Pliocène. (Younssi H E. 2009).

## 2. Les styles structuraux :

Les formations parautochtones Nord Auresiennes représentées dans la zone centrale par les Dj. Fedjoudj, Kef Gouriret et Dj. Tarf, les massifs à l'est d'Ain Beida ainsi que la ligne de reliefs monoclinaux des Djs. Boutokhma, Fedjidjet et Guern Ahmar illustrent les formations autochtones Nord Aurésiennes.

Le secteur Sud-Ouest de la région étudiée au-delà de l'axe Kais – Baghaï – koudiat El Mzara et Dj. Stih correspond aux formations autochtones Aurésiennes. Tous ces massifs sont affectés de plissements parfois intenses selon la direction atlasique prédominante (Nord 40°Est) et cisailés par des failles types atlasique de directions majeures (NE – SO) qui leur donnent un aspect compartimenté.

## 3. Les dépressions et fosses d'effondrement :

Ces structures géologiques sont illustrées aussi bien par les grandes étendues comprises entre les massifs de Ain Beida et le parautochtone Nord Aurésien que par celles comprises



La direction majeure de la région est SW-NE (direction des plis de l'Aurès), elle est due aux plissements anté-miocène. Le Miocène est discordant sur les terrains antérieurs.

Les principales unités tectoniques sont les suivantes :

- L'anticlinorium du massif d'Ain Beida.
- Le prolongement NW du grand anticlinal de Khenchela. Celui-ci, après s'être ennoyé sous la plaine de F'kirina, réapparaît vers le NW et est matérialisé par la structure anticlinale de Argoub Zitoun jalonnée par des pointements Triasiques.
- L'anticlinal de la Meskiana. Entre eux s'intercalent les synclinaux, tels que le synclinal perché de Mzara.

### **5. Formations aquifères :**

À l'issue de la synthèse lithologique, nous pouvons sur la base des informations relatives à la nature lithologique des terrains de distinguer les formations susceptibles d'être aquifères.

#### **5.1) Les formations de recouvrement :**

D'âge moi-quaternaire, formées de conglomérats, d'alluvions et de calcaires lacustres, ces formations constituent un ensemble réservoir important et qui repose sur l'ensemble réservoir des dépôts carbonatés du Jurassique et du crétacé inférieur.

Les deux ensembles sont en plusieurs endroits séparés par des niveaux argileux et marneux, ces derniers constituent le mur du réservoir Mio-plioquaternaire et le toit du réservoir des dépôts carbonatés jurassique et crétacé inférieur. Cet aquifère est exploité par puits et forages peu profonds.

#### **5.2) L'ensemble du réservoir des dépôts carbonatés :**

Les formations carbonatées de l'ensemble parautochtone et autochtone Auresien telle que les formations du Crétacé comme le Cénomaniens, l'Aptien (calcaires) et le Barrémien (calcaires et dolomies).

L'épaisseur totale est de 650 m est les formations du Jurassique, telles que celles rencontrées à une profondeur moyenne de 10 m sur les piémonts des massifs, et se trouvent à une grande profondeur au centre de la plaine (Younssi H E. 2009).

**CHAPITRE 03 :**  
**Revue de littérature**

## Introduction

Le terme pollution peut être défini comme suit : « c'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives des milieux ou encore en enlaidissant la nature. » (Koller E. 2004).

### 1. La pollution de l'eau :

La pollution de l'eau est une altération des qualités naturelles (physiques et chimiques) d'une eau. C'est à la fois l'action et les processus de dégradation des qualités de l'eau.

La pollution des eaux souterraines entraîne le risque permanent de limitation de cette ressource dans un proche avenir. Elle résulte essentiellement de l'activité humaine indépendamment de la détérioration naturelle liée aux facteurs géologiques.

Dans ce contexte, l'étude de la vulnérabilité à la pollution du système aquifère pourrait prévenir les risques de contamination et par là même orienter le mode de gestion et d'exploitation des eaux souterraines (Boucenna F. 2009).

#### 1.1 La pollution des eaux :

Une eau est dite polluée lorsque sa qualité est dégradée. Plusieurs types de pollution existent provenant d'origines diverses (domestiques, agricoles, industrielles ou même naturelle) (Zeghid K. 2013).

- **Pour l'écologue**, il s'agit de la dégradation du milieu «eau» par l'introduction d'un agent altérage. Cet agent, substance ou facteur (biologique, chimique ou physique) provoque à partir d'une certaine concentration ou intensité, une altération gênante ou nuisible de ce milieu.
- **Pour l'utilisateur**, l'eau est polluée quand sa qualité ne correspond plus aux exigences de certains usages (domestiques, agricoles ou industriels) (CNRS Strasbourg eau., ; environnement in Keddal., et N'dri Y. 2007). (Hemidi L. 2014).

### 1.1.1 La pollution chimique :

Il s'agit de différentes substances dissoutes dans l'eau (notamment les nitrates, phosphates ou micropolluants), provenant des activités humaines. Les micropolluants sont des polluants susceptibles d'être toxiques à très faible concentration (de l'ordre du microgramme ou nanogramme par litre).

Ils sont essentiellement issus de l'utilisation de substances produites par l'industrie chimique. Ces substances sont présentes dans les cosmétiques, les médicaments, les peintures, les pesticides et dans bien d'autres produits de consommation (Marchai. 2007).

### 1.1.2 La pollution microbiologique :

Elle est liée aux micro-organismes, bactéries, virus et champignons pouvant se trouver dans l'eau. Ce type de pollution est fréquent et provient généralement d'une pollution par des matières fécales animales ou humaines (Muet. 2011).

### 1.1.3 La pollution physique :

Ce type de pollution peut modifier la transparence de l'eau (turbidité, en raison de matière en suspension) ou sa température (Zeghid K. 2013).

## 1.2 La pollution agricole des eaux :

L'activité agricole modifie fortement la qualité et la dynamique de l'eau dans le milieu par : la transformation du couvert végétal, le travail du sol, l'apport de fertilisants et de pesticides, l'agriculture altère le cycle de l'eau comme de ses composés.

La croissance de la production agricole au moyen de l'agrochimie et de la mécanisation durant ces dernières décennies a entraîné des dégradations des sols et des eaux dans de nombreuses régions du monde. Ces dégradations varient en fonction des formes et du niveau d'intensification agricole et en fonction du contexte pédoclimatique (Laurent F. 2012).

Les agriculteurs ont eu recours à l'agriculture intensive, avec pour conséquence la pollution des eaux des sols par de fortes concentrations en azote, phosphore, pesticides et microorganismes :

- **Les pesticides :**

Les pesticides d'origine agricole les plus souvent quantifiés sont les herbicides.

Bien que moins fréquente que celle des herbicides, une présence significative d'insecticides et de fongicides utilisés en traitement de grandes cultures est mise en évidence dans l'eau des rivières.

- **Les matières organiques :**

Les déjections animales, issues de l'élevage, contiennent des matières organiques, matières azotées et phosphore pouvant poser des problèmes de pollution des eaux superficielles et souterraines dans les zones d'élevage intensif.

Les rejets de bactéries dans l'environnement sont limités par les pratiques agricoles qui consistent à stocker le lisier dans des fosses. Lorsque les conditions d'épandage sont respectées, ces rejets sont bien absorbés par l'environnement.

Toutefois, certains peuvent perdurer des semaines, voire des mois dans l'environnement et en zone d'élevage intensif. Le risque de détecter des microorganismes pathogènes dans les rivières peut alors être important.

- **Le phosphore :**

Élément limitant de la croissance des plantes, il est le principal facteur de l'eutrophisation et de la détérioration de la qualité des eaux. De très faibles teneurs en phosphore (quelques dizaines de mg/l) peuvent constituer un polluant dangereux.

Le phosphore est apporté par l'agriculture sous forme d'effluents d'élevage et d'engrais minéraux. L'usage de phosphore dans l'agriculture, lié à l'utilisation d'engrais, contribue ainsi à la pollution des eaux superficielles.

Pourtant, la principale source de phosphore en Algérie est l'agriculture, mais les eaux usées domestiques et l'industrie aussi contribuent à l'augmentation de teneurs en phosphore dans l'environnement.

- **Les nitrates :**

La contamination de l'eau par les nitrates est un des principaux problèmes liés aux activités agricoles, qui peuvent être toxiques pour la santé, plus particulièrement pour le nourrisson moins de 6 mois en raison de l'immaturation de l'activité de la « méthémoglobine réductase ». Les adultes porteurs d'un déficit enzymatique (en G6PDH ou en MetHb réductase) sont également exposés.

- **Les compléments alimentaires et les antibiotiques :**

Il y a, dans les sols, accumulation de métaux (cuivre, zinc) en provenance de l'alimentation des animaux d'élevage et des résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections ou pour favoriser leur croissance. L'importance des rejets médicamenteux dans les eaux est mal connue aujourd'hui (Association Santé Environnement France. 2010).

Face à ces risques, le gouvernement a élaboré des politiques pour limiter les impacts négatifs de l'agriculture sur l'eau. Les réglementations nationales n'ont pas suffi à restaurer la qualité des ressources pour trois raisons majeures.

Tout d'abord, l'impact de l'agriculture sur le milieu résulte de pratiques qui ne peuvent pas être systématiquement régies par des normes du fait de leur complexité et de la difficulté de leur contrôle par les pouvoirs publics.

Par ailleurs, le retour à une qualité satisfaisant les usages humains passe par des mesures plus adaptées aux spécificités des territoires du fait de la diversité des activités agricoles, des contextes pédoclimatiques et des sociétés locales. Troisième raison, les agriculteurs n'ont pas adhéré dans leur majorité à la légitimité des actions environnementales, les risques sanitaires et écologiques ne sont pas pleinement admis et les solutions proposées ne leur paraissent pas forcément efficaces ou, pour le moins, sont considérées comme inadaptées à leurs contraintes de production (Laurent F. 2012).

## **2. Vulnérabilité des eaux à la pollution :**

### **2.1) Concepts de vulnérabilité :**

La notion de vulnérabilité, liée au risque de pollution des eaux souterraines, englobe à la fois celle d'agression et de défense (Suais., et al. 1983 ; Brelot., et al. 1996).

- ❖ La vulnérabilité des nappes correspond à leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables dans la mesure où elles sont plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation du polluant dans le sol (Albinet. 1989).
- ❖ La vulnérabilité liée au risque de pollution est déterminée par la facilité de pénétration des substances polluantes s'infiltrant à partir de la surface du sol vers la nappe (Robins., et al. 1989 ; Indjoudar. 2003).

## **2.2) Différents types de la vulnérabilité :**

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Hamza., et al. 2007).

### **2.2.1) La vulnérabilité intrinsèque :**

C'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui détermine la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. Elle ne tient compte que des facteurs physiques influençant le mouvement d'un polluant vers la nappe (Landreau. 1996 ; in Cazaux. 2007 ; Schnebelen., et al. 2002).

### **2.2.2) La vulnérabilité spécifique :**

C'est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (Schnebelen., et al. 2002 ; in Bézèlgues., et al. 2002).

Il s'avère judicieux de faire la distinction entre les caractéristiques du milieu et l'existence de sources de pollution. En effet, les premières sont intemporelles, alors que les secondes sont évolutives. Il est donc préférable de distinguer la vulnérabilité intrinsèque, caractérisant la plus ou moins grande facilité de propagation des polluants à travers le milieu naturel, de la vulnérabilité spécifique (Landreau. 1996 ; in Cazaux. 2007).

## **2.3) Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :**

Les premières cartes de vulnérabilité furent élaborées par des chercheurs français au début des années 70 (Albinet., et Margat. 1970). Elles ont été ensuite expérimentées dans d'autres pays du monde. Le principe de leur élaboration consistait à réaliser la synthèse de quelques paramètres ayant une influence majeure dans la vulnérabilité des aquifères. Depuis une vingtaine d'années, plusieurs méthodes ont été proposées et expérimentées, afin d'aboutir à une caractérisation simple et précise de la vulnérabilité.

### **2.3.1) La méthode « RISKE » :**

La méthode RISKE est une méthode multicritère de type point Count Système Models (PCSM) ou méthode à index avec pondération des critères. Elle a pour but d'évaluer la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques. Cette approche est dérivée de la méthode EPIK développée en Suisse par Doerfliger (1996) pour "évaluer la sensibilité des eaux

souterraines des régions karstiques aux influences naturelles et anthropiques de manière globale et rigoureuse".

La méthode RISKE prend en compte 5 critères qui permettent de définir l'architecture de l'aquifère et l'organisation des écoulements dans le milieu karstique : Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification et Epikarst (Zeghid K. 2013).

### 2.3.2) La méthode « GOD » :

La méthode GOD a été développée par Foster en 1987, et présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale des polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas la migration latérale des polluants dans la zone saturée (Mardhel., et al. 2005). D'après Foster (1987), la méthode GOD est une méthode paramétrique utilisant le produit des trois paramètres:

- (G): Groundwater occurrence ou type de nappe;
- (O): Overall aquifer class ou lithologie de la zone non saturée (ZNS) de l'aquifère ;
- (D): Depth to groundwater table ou profondeur de la nappe.

L'indice de vulnérabilité se calcule par la multiplication des coefficients des trois paramètres GOD comme suit :

$$IGOD = C_i * C_p * C_a$$

Où:

- IGOD: est l'indice potentiel de pollution (indice GOD) ou degré de vulnérabilité;
- $C_i$ : est le coefficient du type de l'aquifère;
- $C_p$ : est le coefficient de profondeur de la nappe;
- $C_a$ : est le coefficient de lithologie de l'aquifère (Charikh M. 2015).

### 2.3.3) La méthode « DRASTIC » :

La méthode "Drastic" a été développée par l'association NWWA (National Water Well Association) pour le compte de l'USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Conçue entre 1983 et 1987, dans le but d'offrir une base pour l'évaluation du potentiel des eaux souterraines, cette méthode a été testée et appliquée à douze régions hydrogéologiques des États-Unis d'Amérique (Fréchette. 1987).

Elle est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité qui sont la synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région. Son application nécessite néanmoins la vérification de certaines conditions d'application :

- La source de pollution potentielle est localisée à la surface du sol ;
- Les polluants sont entraînés depuis la surface du sol jusqu'à la nappe par l'infiltration efficace ;
- Dans le cas où la source de pollution serait située en profondeur dans le sol, la méthode demeure valable en modifiant les paramètres affectés par la position de la source de pollution.

- **Les paramètres de la méthode "DRASTIC" :**

La particularité de cette méthode réside dans l'attention particulière qui est accordée par les concepteurs, aux 7 paramètres physiographiques et hydrogéologiques qui sont :

- La profondeur du plan d'eau dans l'aquifère (D) ;
- La Recharge nette (R) ;
- Le type d'Aquifère (A) ;
- Le type de Sol (S) ;
- La Topographie (T) ;
- La Nature de la ZNS (I) ;
- La Conductivité hydraulique (C).

Les initiales de ces paramètres forment le terme "DRASTIC" (Boucenna F. 2009).

Dans le SIG, chaque paramètre est noté sur une couche en lui affectant un coefficient correspondant au poids du paramètre, c'est-à-dire son influence sur la vulnérabilité de la nappe. Ensuite, ces couches sont superposées sur une couche résultante où sera calculé l'indice DRASTIC (Id).

L'indice DRASTIC (Id) est la somme pondérée des sept paramètres selon la formule suivante:

$$Id = DpDn + RpRn + ApAn + SpSn + TpTn + IpIn + CpCn$$

Où :

- D, R, A, S, T, I, C, sont les paramètres cités plus haut ;
- Les  $p_i$  sont les poids des paramètres DRASTIC ;
- Les  $n_i$  sont les notes des paramètres DRASTIC.

DRASTIC génère un indice pour le potentiel de pollution des ressources en eau souterraine. Cet indice s'étale sur intervalle d'entiers allant de 0 à 230.

#### 2.3.4) La méthode « SINTACS » :

La méthode SINTACS est dérivée de la méthode DRASTIC. Elle a été développée en Italie, au début des années 1990, de manière à s'adapter à la cartographie à plus grande échelle compte tenu de la grande diversité hydrogéologique de l'Italie (Pételet., et al. 2000).

Les paramètres de caractérisation de la vulnérabilité qui ont été retenus dans cette approche sont les mêmes que ceux de la méthode DRASTIC, soit en italien :

- S : Soggiacenza (profondeur de la nappe) ;
- I : Infiltrazione (infiltration) ;
- N : Azione del Non Saturo (fonction de la zone non saturée) ;
- T : Tipologia della Copertura (sol) ;
- A : Carratteri Idrogeologici dell' Acquifero (caractéristique hydrogéologique de l'aquifère) ;
- C : Conducibilita Idraulica (conductivité hydraulique) ;
- S : Acclività della Superficie Topographica (pente moyenne de la surface topographique).

Contrairement à DRASTIC, la méthode SINTACS permet d'utiliser, en même temps et dans des cellules différentes, des facteurs de pondération variables selon les situations (Schnebelen., et al. 2002). L'index de vulnérabilité  $I_v$  est calculé selon la formule :

$$I_v = \sum P(1,7) W(1, n)$$

Avec :

- $P(1, 7)$  : index des critères 1 à 7

- $W(1, n)$  : poids de chaque classe (varie de 1 à n)

L'index final résultant de cette méthode est divisé sous forme de pourcentage puis d'intervalles définis sur la base de 500 tests. Ces intervalles sont regroupés en six classes de vulnérabilité. SINTACS utilise donc les sept mêmes paramètres que DRASTIC, mais est plus flexible au niveau du système d'indexation et de pondération. L'utilisateur code (Vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante \_ Phase 1\_Rapport BRGM R 51783 22).

Les données d'entrée en fonction des situations locales de chaque cellule, avec la possibilité d'utiliser des classifications différentes suivant les conditions (Baali F. 2007).

### 2.3.5) La méthode SI « Susceptibility Index » :

Cette méthode d'évaluation de la vulnérabilité verticale a été développée au Portugal par Ribeiro L. (2000), SI est une version modifiée du modèle DRASTIC. Qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides). Cinq paramètres sont pris en considération par cette méthode. Quatre (D, R, A et T) sont communs à la méthode DRASTIC. Le cinquième paramètre traduit les activités anthropiques, à travers l'occupation du sol OS. La classification utilisée pour ce paramètre est la classification CORINE Land Cover (ESA. 2016) Une valeur comprise entre 0 et 100 est attribuée à chaque classe d'occupation du sol.

L'équation fait intervenir les poids des paramètres SI attribués selon la formule suivante:

$$I_s = (D_p + R_p + A_p + T_p) \times 10 + OSp$$

Où :

- $I_s$  l'indice de vulnérabilité selon la méthode SI ;
- D, R, A, T, sont les paramètres de DRASTIC ;
- Les  $rI$  sont les poids des paramètres SI.

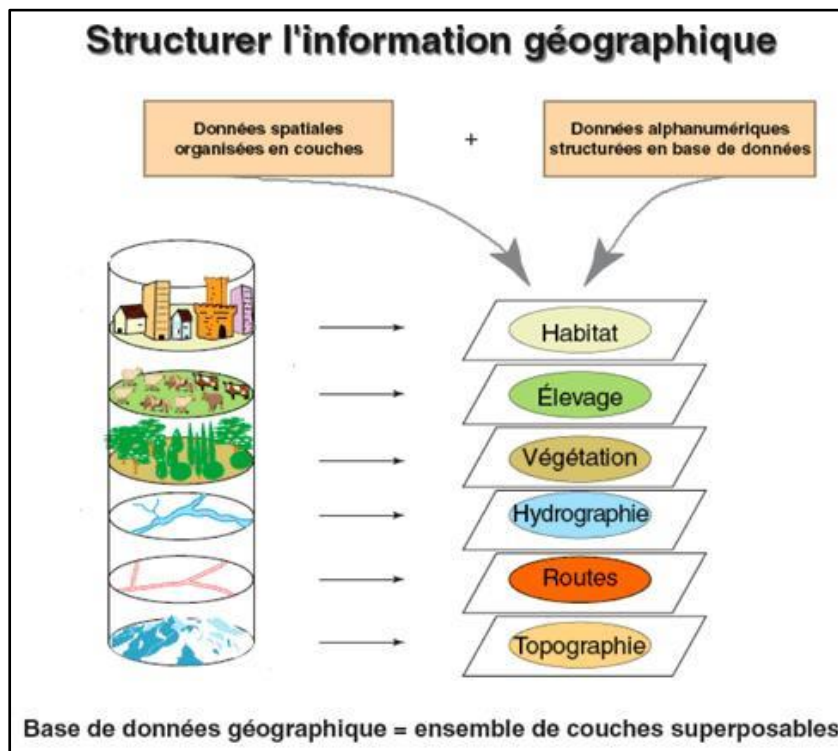
Selon les valeurs de l'indice de vulnérabilité, la méthode SI présente quatre classes de degrés de vulnérabilité (Achour M. 2014).

### 3. Apport des SIG dans l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution :

Le SIG est un outil qui permet de rassembler diverses données « relatives à la fois à la terre et à l'homme, à leurs interactions et leurs évolutions respectives » (Denègre., et Salgé. 1996).

Cet outil permet de faire le lien entre des thématiques différentes, à condition d'avoir un point commun d'ordre spatial (Noiset. 2006).

Le système d'information géographique est conçu pour répondre à des besoins précis « qui déterminent une modélisation finalisée du monde réel » (Joliveau. 2006). Il permet de saisir, gérer, analyser des données de référence spatiale et d'en faire une présentation sur des cartes plus ou moins réalistes de l'environnement spatial, en se basant sur des objets géographiques, comme les polygones, les lignes et les points, au quels sont associées des données qualitatives, telles que les caractéristiques naturelles (végétation...).



**Figure 09 :** Structure de l'information géographique.

Le SIG facilite l'intégration de diverses données hétérogènes (Joliveau. 1993). Il permet de stocker, visualiser, manipuler et afficher toute une gamme d'informations basées sur la géographie. L'information combine des données géométriques et thématiques, dont chaque thème est représenté par une couche, qui rassemble un ensemble d'objets homogènes

(parcelles, routes, population), associant la représentation cartographique des objets spatiaux et la table d'informations statistiques. Cela permet d'établir des cartes de synthèse.

Ce système permet également de croiser des couches contenant chacune des informations géographiques sur une région donnée. Ce croisement équivaut à superposer deux feuilles transparentes qui contiennent des informations différentes pour la même région.

### **3.1) Les composants d'une SIG :**

Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composants majeurs :

#### **3.1.1) Matériel :**

Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.

#### **3.1.2) Logiciels :**

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Principaux composants logiciel d'un SIG :

- Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- Système de gestion de base de données.
- Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.
- Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

#### **3.1.3) Données :**

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

#### **3.1.4) Utilisateurs :**

Un Système d'Information Géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence.

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.

### 3.1.5) Méthodes :

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

### 3.2) Comment fonctionne un SIG :

Un SIG stocke les informations concernant le monde sous la forme de couches thématiques pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie. Ce concept, à la fois simple et puissant a prouvé son efficacité pour résoudre de nombreux problèmes concrets.

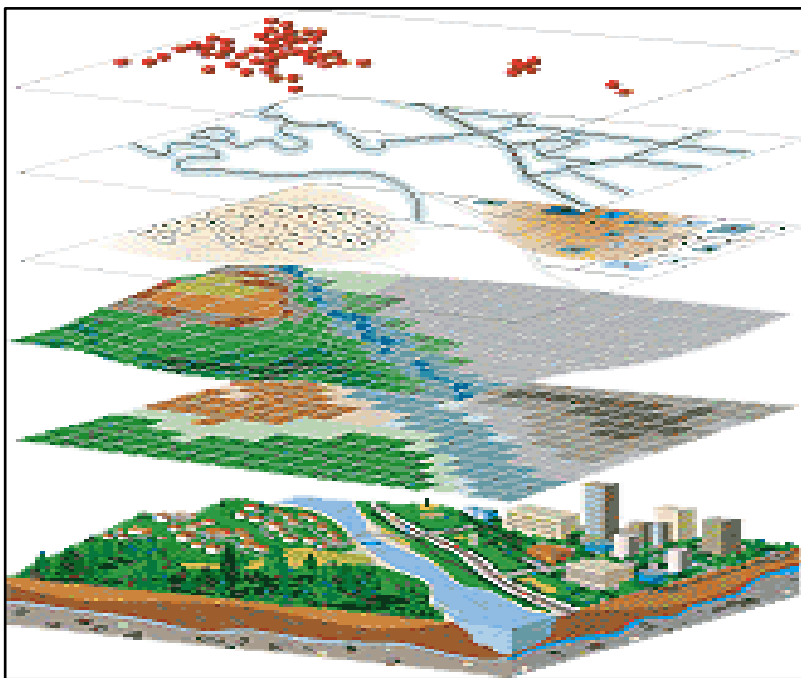


Figure 10 : Le SIG représente le monde réel.

### 3.3) Références géographiques :

L'information géographique contient soit une référence géographique explicite (latitude & longitude ou grille de coordonnées nationales) ou une référence géographique implicite (adresse, code postal, nom de route...). Le géocodage, processus automatique, est utilisé pour transformer les références implicites en références explicites et permettre ainsi de localiser les objets et les événements sur la terre afin de les analyser.

### 3.4) Modèles de données vecteurs et raster :

Les Systèmes d'Information Géographique exploitent deux différents types de modèles géographiques :

### 3.4.1) Le modèle vecteur :

Dans le modèle vecteur, les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées  $x$ ,  $y$ .

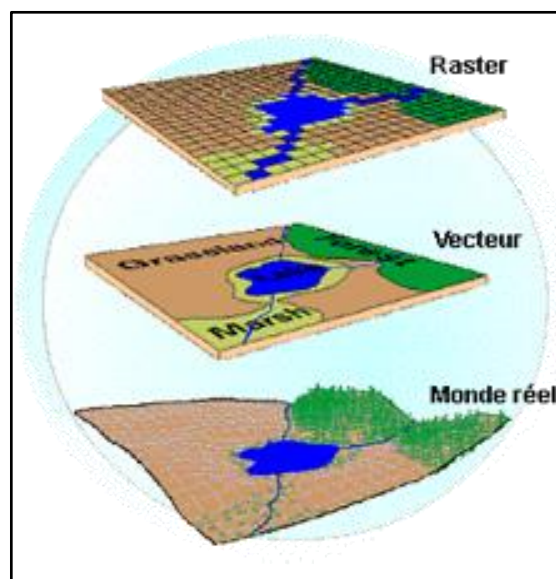
Les objets de type ponctuel sont dans ce cas représentés par un simple point. Les objets linéaires (routes, fleuves...) sont eux représentés par une succession de coordonnées  $x$ ,  $y$ . Les objets polygonaux (territoire géographique, parcelle...) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée.

Le modèle vectoriel est particulièrement utilisé pour représenter des données discrètes.

### 3.4.2) Le modèle raster :

Le modèle raster, quant à lui, est constitué d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres. Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol...

Chacun de ces deux modèles de données dispose de ses avantages. Un SIG moderne se doit d'exploiter simultanément les données raster et vectoriel de représentation.



**Figure 11** : Notion des couches de données.

# **Partie Expérimentale**

# **CHAPITRE 04 :**

## **Cartographie de la vulnérabilité**

## Introduction

La diversité des méthodes développées pour l'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution rend le choix très délicat. Ainsi choisir une méthode implique une connaissance approfondie de l'ensemble du système aquifère.

Néanmoins, la méthode à retenir doit remplir les conditions d'utilisation préconisées par ses concepteurs, particulièrement, les conditions hydrogéologiques, la quantité d'information disponible et le nombre de paramètres utilisés (Aller et al. 1987).

### 1. Choix des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :

Dans cette étude, pour rendre compte de la vulnérabilité intrinsèque et spécifique les deux modèles DRASTIC (Aller et al. 1987) et SI (Ribeiro L. 2000) ont été appliqués. Ils ont été proposés à partir de l'analyse du contexte hydrogéologique de la plaine de F'kirina. Les critères sur laquelle reposent ces deux méthodes sont représentés dans le tableau ci-dessous. Ces critères représentent les facteurs du transfert de substances polluantes depuis la surface du sol vers la nappe.

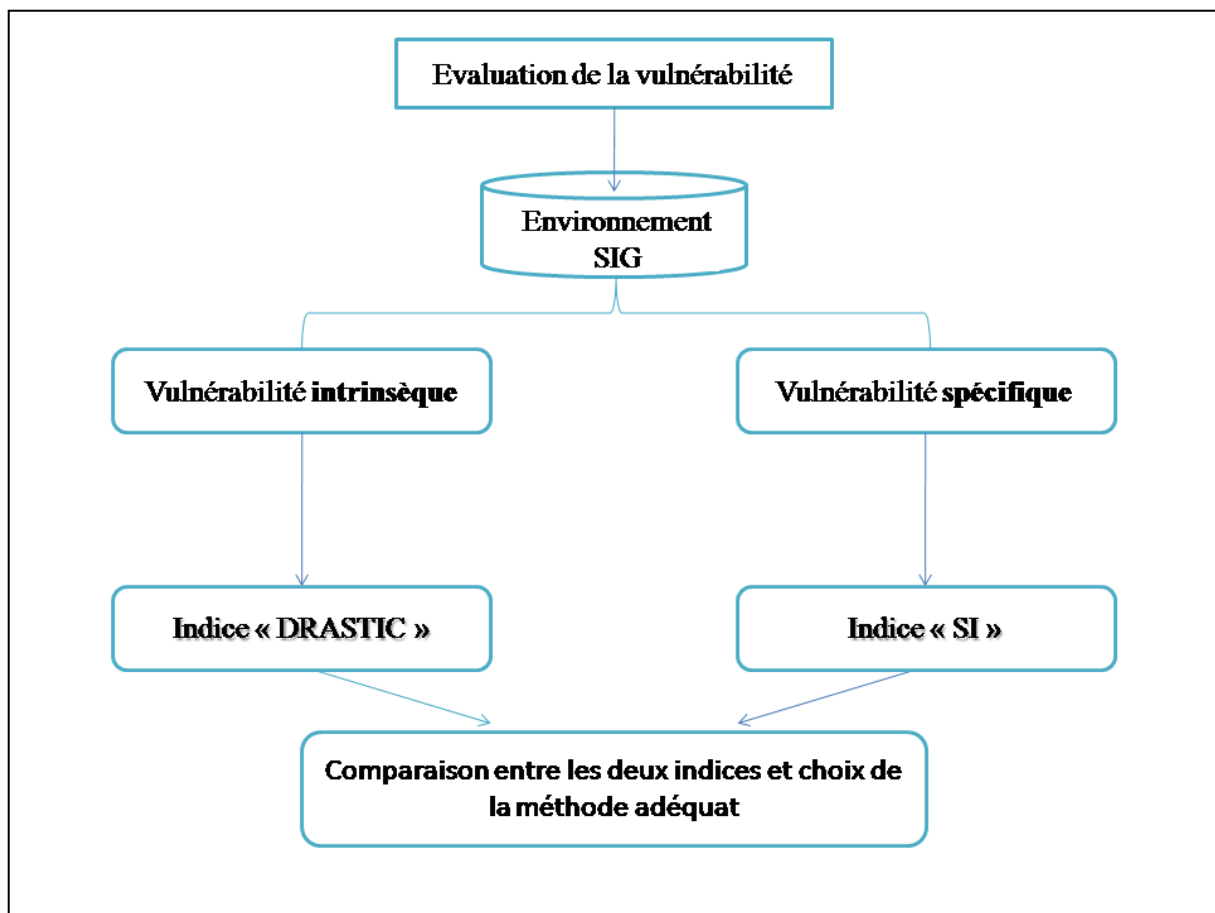
**Tableau 01 :** Méthodes et critères de vulnérabilité intrinsèque et spécifique proposés.

	Vulnérabilité intrinsèque « DRASTIC »	Vulnérabilité spécifique « SI »
profondeur de la nappe « D »	X	X
Recharge nette « R »	X	X
Lithologie de l'aquifère « A »	X	X
Sol (Texture) « S »	X	
Topographie « T »	X	X
Zone non saturée « I »	X	
Perméabilité (conductivité hydraulique) « C »	X	
Occupation du sol « OS »		X

## 2. Méthodologie :

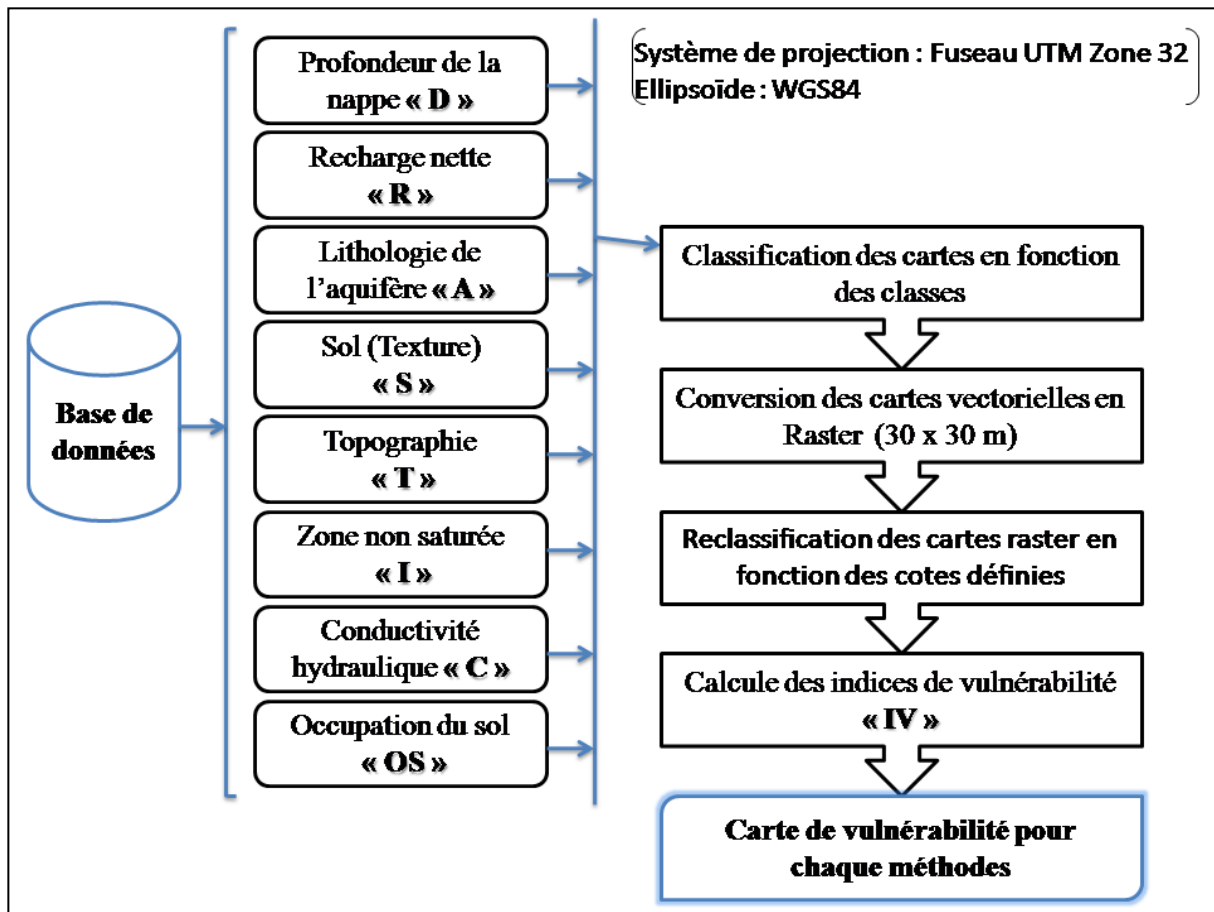
La cartographie de vulnérabilité comprend toutes les activités et techniques appropriées pour recueillir, interpréter et représenter l'information hydrogéologique sous forme graphique (Struckmeier., et Margat. 1995).

Dans un premier temps, il est proposé de s'attacher à cartographier la vulnérabilité intrinsèque de la nappe de F'kirina en se basant sur les caractéristiques du milieu physique en relation avec la nappe (critère invariable dans le temps). Cependant, un critère de vulnérabilité spécifique (pollution agricole) majeure dans le contexte de la nappe de F'kirina sera également pris en compte (fig.12).



**Figure 12** : La démarche méthodologique proposée.

La méthodologie utilisée dans la réalisation des cartes de vulnérabilité intrinsèque et spécifique est résumée dans l'organigramme suivant :



**Figure 13 :** Organigramme présentant les étapes de la réalisation de la carte de vulnérabilité d'après les deux méthodes.

### 3. Logiciels utilisés :

Dans l'étude de la vulnérabilité de la plaine de F'kirina le logiciel ArcGis version 10.1 a été utilisé. ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.).

ArcGIS Desktop comprend une suite d'applications intégrées :



**ArcMap :** pour analyser les données, réaliser des produits cartographiques;

**ArcCatalog :** pour la gestion et la navigation dans les bases de données ;

**ArcToolbox :** pour effectuer la conversion, la manipulation, le traitement et l'analyse de données.

À l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée.

**Tableau 02** : Sources de données brutes et mode de traitement de chaque paramètre.

Paramètre	Source de données	Type de données	Mode de traitement
profondeur de la nappe « D »	Levez des niveaux statiques des forages	Point	Interpolation
Recharge nette « R »	Études hydroclimatiques (P, ETP), 2014.	Polygone	Digitalisation
Lithologie de l'aquifère « A »	Fiche technique des forages	Polygone	Digitalisation
Sol (Texture) « S »	Carte des sols d'Algérie (Tebessa 1 :500 000)	Polygone	Digitalisation
Topographie « T »	Modèle numérique de terrain MNT ( <a href="http://earthexplorer.usgs.gov">http://earthexplorer.usgs.gov</a> )	Polygone	Digitalisation
Nature de la zone non saturée « I »	Fiches techniques des forages	Point, Polygone	Interpolation, Digitalisation
Perméabilité (conductivité hydraulique) « C »	Essaie par pompage	Point	Interpolation
Occupation du sol « OS »	CCI LAND COVER - S2 prototype land cover 20m map of Africa 2016 (esa)	Point, Polygone polyline	Digitalisation

#### 4. Résultats et discussion :

##### 4.1) La méthode « DRASTIC » :

##### 4.1.1) Détermination des paramètres du modèle « DRASTIC » :

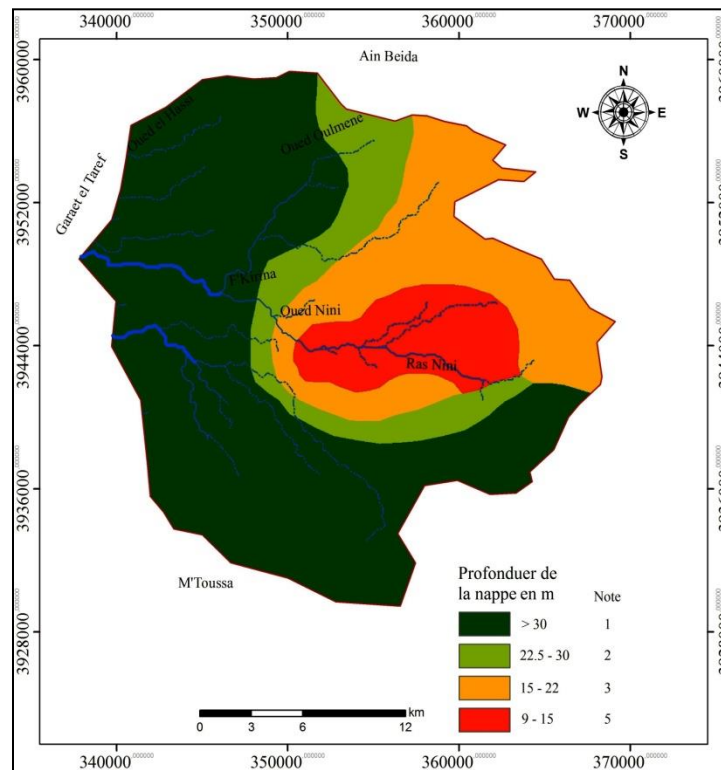
##### 4.1.1.1) Profondeur de la nappe « D » :

La profondeur de la nappe montre le chemin vertical traversé par un polluant de la surface du sol vers la nappe. Généralement plus cette profondeur est élevée, plus le temps nécessaire pour le polluant pour atteindre la surface piézométrique augmente. On a obtenu ce paramètre en interpolant le niveau statique de 18 forages, et pour cela on a utilisé la méthode IDW (Invers Distance Weighted) pour obtenir des courbes d'isoprofondeurs. Par la suite, on a utilisé la méthode de triangulation pour transformer ces courbes en un MNT de profondeur de la nappe. La profondeur dans la zone d'étude va de 9 mètres comme minimum pour atteindre une profondeur supérieure à 30 mètres.

La carte des profondeurs de la nappe montre quatre classes (Fig.14) :

- La classe de > 30 mètres. Cette profondeur représente 58,59 % de la superficie totale de la région. Situé principalement dans l'Ouest allant vers le sud et le sud-est ;

- La classe de 22m-30m : représente 11,28% de la superficie totale de la région. Situé dans le centre de la zone d'étude ;
- La classe de 15m-22m : représente 20,41% de la superficie totale de la région. Situé dans l'Est de la zone d'étude ;
- La classe de 9m-15m : représente 09,92% de la superficie totale de la région. Situé dans le centre-Est de la zone d'étude.



**Figure 14 :** La carte de la profondeur de la nappe de la zone d'étude.

#### 4.1.1.2) Recharge nette « R » :

On peut définir ce paramètre comme le mécanisme qui véhicule ou transporte le polluant vers la profondeur ça veut dire l'aide à s'infiltrer. Plus les valeurs de cette recharge sont grandes, plus le risque de contamination est élevé, le moteur principal de ce mécanisme est les eaux de précipitation sans oublier la contribution importante des eaux d'irrigation dans notre zone d'étude. La recharge nette dans la zone d'étude est obtenue selon la méthode Williams and Kissel (1991). Cette méthode a été appliquée pour plusieurs zones semi-arides aux Etats Unis.

La recharge « R » est calculée selon cette méthode avec les équations suivantes correspondantes à différents groupes hydrologiques de sols :

$R = (P - 10.28) 2 / (P + 15.43) \rightarrow$  groupe hydrologique A.

$R = (P - 15.05) 2 / (P + 22.57) \rightarrow$  groupe hydrologique B.

$R = (P - 19.53) 2 / (P + 29.29) \rightarrow$  groupe hydrologique C.

$R = (P - 22.67) 2 / (P + 34.00) \rightarrow$  groupe hydrologique D.

Où P est la somme des précipitations annuelles et irrigation, exprimée en pouces. Les quatre groupes hydrologiques A, B, C et D correspondent aux types de sols classés en fonction de leur infiltration (Viessmann., et al. 1977).

- Groupe A : les sols qui ont un taux d'infiltration très élevé même si elles sont complètement mouillées.
- groupe B : les sols avec une vitesse d'infiltration modérée lorsqu'il est complètement mouillé.
- Groupe C : les sols caractérisés par une vitesse d'infiltration lente lorsqu'il est complètement mouillé.
- Groupe D : les sols caractérisés par une vitesse d'infiltration très lente lorsqu'il est complètement mouillé.

La carte hydrologique des sols a été tirée de la carte générale des sols de Tebessa 1 : 500 000.

Trois classes ont été définies dans la nappe de F'kirina ou leurs valeurs varient entre 50 et plus de 250 millimètres. On a :

- Classe 1 : 50m – 100 mm représente 15,42% de la superficie totale de la région. Situé dans l'Ouest de la zone d'étude.
- Classe 2 : 100 mm – 175 mm représente 21.02% de la superficie totale de la région. Situé dans le centre de la zone d'étude.
- Classe 3 : > 250 mm et qui représente la classe dominante due à la présence des terres irriguées et la lithologie perméable des sols avec 63,56% de la superficie totale de la région. Situé dans l'Est de la zone d'étude sauf une portion qui est située dans l'Ouest.

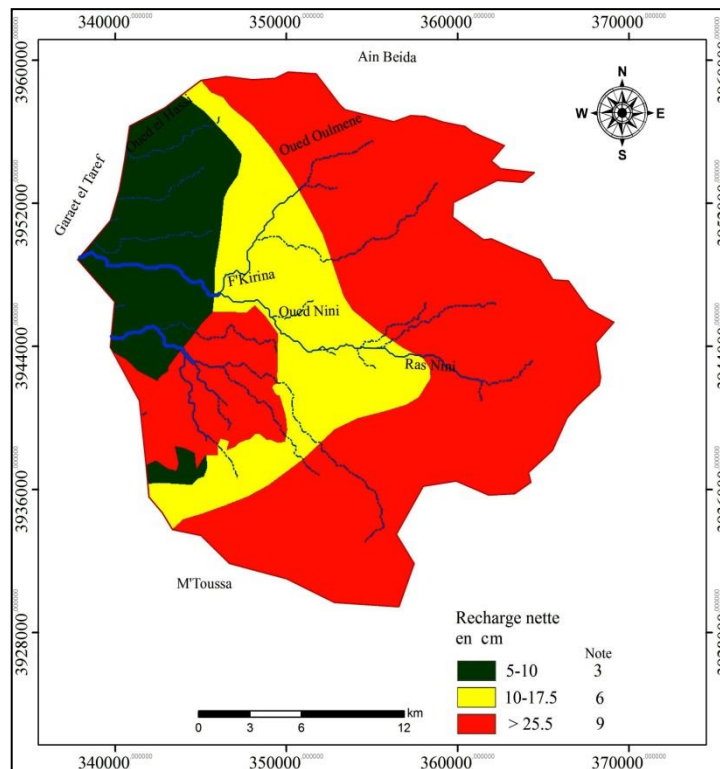
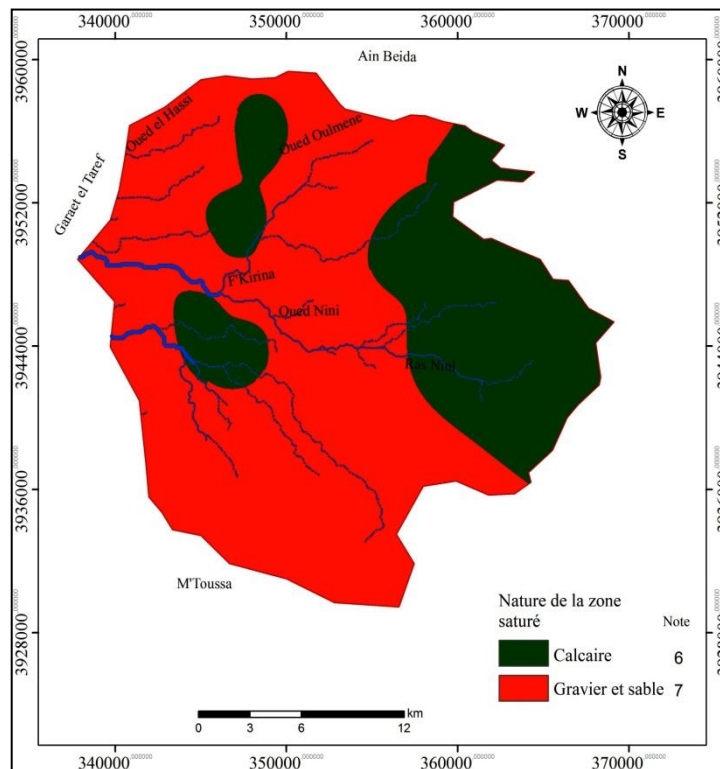


Figure 15 : La carte de recharge nette de la nappe de la zone d'étude.

#### 4.1.1.3) Nature de la zone saturée :

La circulation et la propagation d'un contaminant dans la zone saturée dépendent de la texture et la distribution lithologique des couches de l'aquifère. Cela est toujours contrôlé par la granulométrie, la porosité, la perméabilité et la lithologie des formations géologiques (Smida H. 2007). La détermination de Ce paramètre se fait par la corrélation des coupes lithostratigraphique. La répartition spatiale des niveaux réservoir de la nappe de F'kirina montre deux classes lithologiques :

- Classe 1 : couvrant 31,15 % de la surface totale (en vert), cette formation est située généralement dans l'Est et dans le nord et le centre de la zone d'étude. L'aquifère est formé par les calcaires de maastrichtien ;
- Classe 2 : couvrant 68,85 % de la surface totale (en rouge), cette formation présente la formation dominante ou on la trouve dans le centre, nord, sud et ouest de la zone d'étude. L'aquifère est formé principalement par des sables et graviers.



**Figure 16 :** La carte de Nature de la zone saturée.

#### 4.1.1.4) Sol (Texture) « S » :

Les caractéristiques du sol guident le mouvement descendant des contaminants. La présence de matériaux fins (argiles et limons) et de la matière organique dans le sol diminue la perméabilité intrinsèque, et retarde la migration des contaminants, par les processus physico-chimiques (adsorption, échange ionique, oxydation) et la biodégradation ça veut dire plus le polluant est en interaction avec ses processus, plus le potentiel de pollution diminue (Smida H. 2007). Ce paramètre est obtenu à partir de la carte des sols de l'Algérie (Tébessa) 1 :500000.

4 classes ont été définies dans la plaine de F'kirina :

- Sols salins : représentent 15,14 % de la superficie de la zone d'étude, et situés à l'ouest de la zone d'étude approximativement à Garaet el Tarf vers l'ouest.
- Sols éoliens d'accumulation : représentent 20,53 % de la superficie de la zone d'étude, situés dans le centre-Ouest de la zone d'étude.
- Sols calciques : représentent 35,58 % de la superficie de la zone d'étude, situés dans le centre-est de la zone d'étude.

- Sols calcaires : représentent 28,75 % de la superficie, située dans l'Est de la zone d'étude.

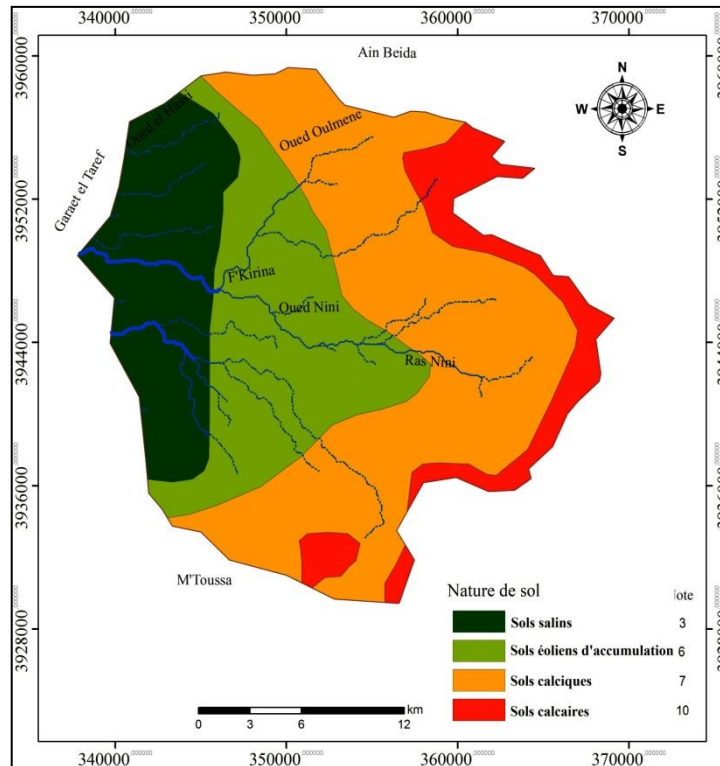


Figure 17 : La carte de la texture du sol de la zone d'étude.

#### 4.1.1.5) La pente :

La topographie s'intéresse à la pente de la surface du sol et indique si un polluant fuira ou restera à la surface pour s'infiltrer dans la nappe. Plus la pente est grande, moins est le potentiel de pollution à cause de l'effet de l'élévation de taux d'érosion et de ruissèlement (Smida H. 2007). Pour le paramètre topographie, une carte matricielle du pourcentage de pente est réalisée à partir du modèle numérique de terrain SRTM (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) avec maillage de 30m X 30m. 5 classes ont été définies dans la zone d'étude :

- >18% : représente 0,017 % de la superficie totale. Situé principalement dans le sud de la zone d'étude avec quelque portion dans l'Est et le Nord-Est. Les eaux de précipitation se ruissèlent facilement ;
- 12%-18% : représentent 0,52 % de la superficie totale. Cette classe prend la même situation que la classe précédente ;

- 6%-12% : représente 3,75 % de la superficie totale. Cette classe prendre la même situation que la classe précédente ;
- 2%-6% : représente 16,63 % de la superficie totale. Elle est présente presque dans toute la superficie de la zone d'étude sous forme de petites taches ;
- 0 % - 2 % : représente 79,083 % de la superficie totale, et elle représente la classe dominante dans la zone d'étude. Elle occupe la majorité de la superficie de la zone d'étude. Le ruissèlement ici est faible ce qui favorise l'infiltration des polluants.

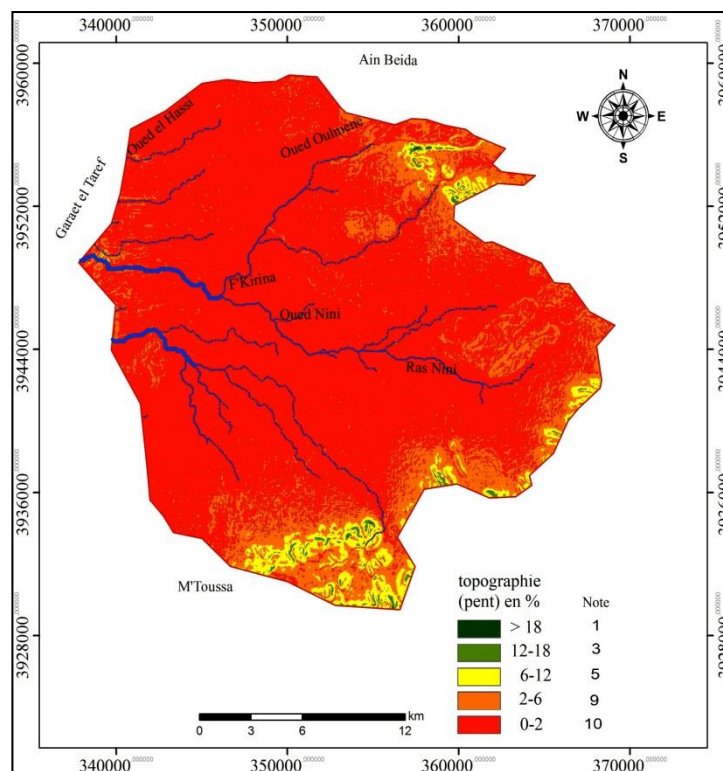


Figure 18 : La carte de la pente de la zone d'étude.

#### 4.1.1.6) Nature de la zone non saturée « I » :

La zone non saturée est définie comme la fraction entre la nappe et la surface du sol où les pores sont partiellement saturés en eau. La perméabilité de cette zone non saturée contrôle la circulation des polluants et leur arrivée à la nappe. La plupart des processus physico-chimiques qui ont lieu dans cette zone sont influencés par l'épaisseur de cette partie. L'infiltration et la dispersion des contaminants sont guidées par les caractéristiques lithologiques des couches qui contrôlent leurs chemins et leurs trajectoires en sub-surface (Smida H. 2007). Ce paramètre est obtenu par interpolation et corrélation des données de forages et par digitalisation et assemblage des cartes géologiques (échelle 1/200.000).

Les 5 classes obtenues sont :

- Les argiles : présentes dans la région sous forme des lentilles dans le Nord, le centre et à l'Ouest de la zone d'étude.
- Argile et calcaire : prendre la même situation de la classe précédente.
- Argile sableuse : présente la classe dominante dans la région et elle est située dans l'Est en allant vers l'Ouest
- Gravier et argile : situé dans le centre et l'Ouest de la zone d'étude.
- Gravier et calcaire : occupe une petite surface dans la région et située dans l'Ouest de la zone d'étude.

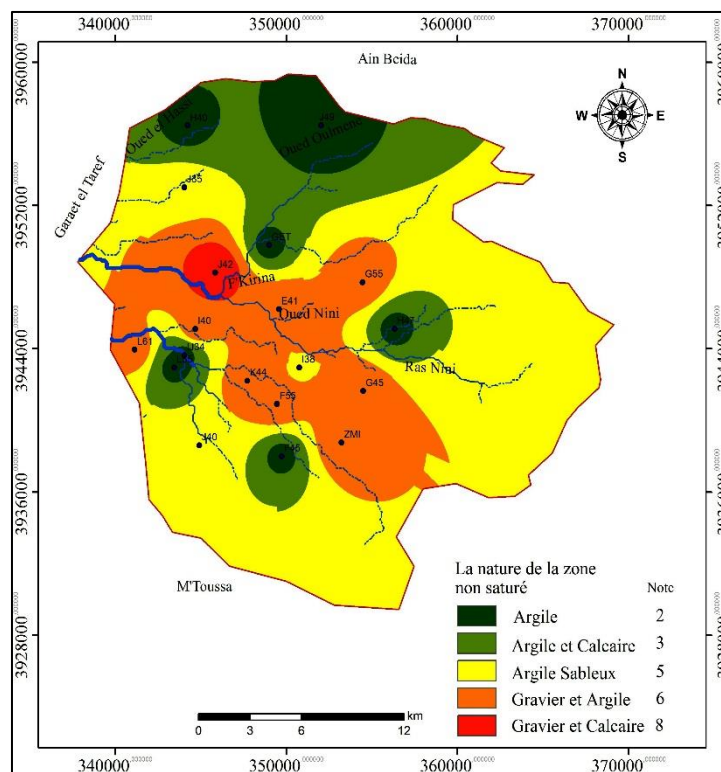


Figure 19 : La carte de la nature de la zone non saturée de la zone d'étude.

#### 4.1.1.7) Conductivité hydraulique « C » :

La conductivité hydraulique contrôle la migration des contaminants et leur dispersion du point d'injection, à la surface, jusqu'à la zone saturée et par conséquent, leurs concentrations dans la nappe aquifère. La carte de conductivité hydraulique est obtenue par affectation d'un facteur de perméabilité pour chaque classe lithologique. (Smida H. 2007). Quand la perméabilité augmente avec une augmentation d'écoulement d'eau, le déplacement des polluants sera plus rapide. Ce paramètre est obtenu par corrélation et interpolation des données des essais par pompage.

Deux classes ont été distinguées dans la zone d'étude :

- $32,9.10^{-5}$  m/s : représente 51,84 % de la superficie totale et située dans l'Est de la zone d'étude.
- Égal ou supérieur à  $9,4.10^{-4}$  m/s : représente 48,16% de la superficie totale et située dans l'Ouest de la zone d'étude.

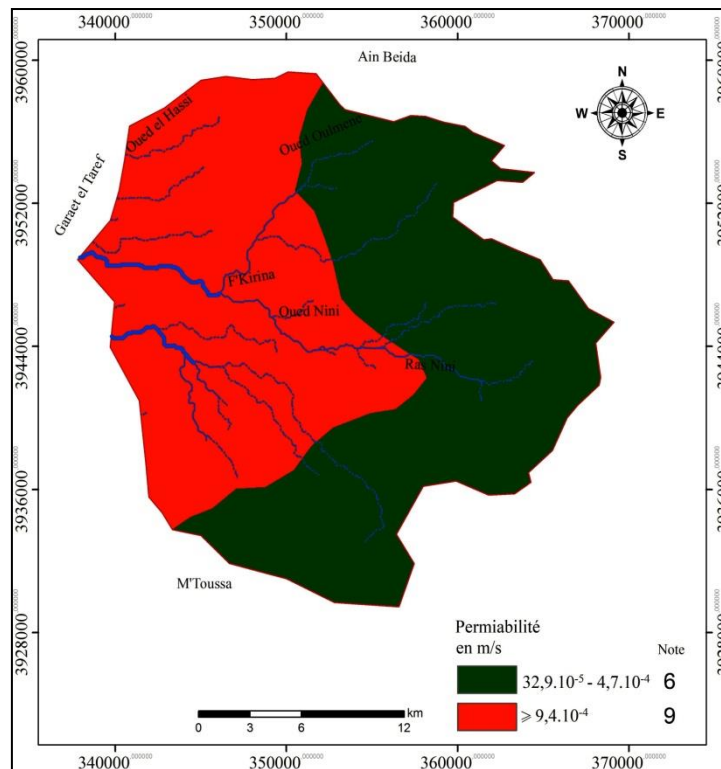


Figure 20 : La carte de la conductivité hydraulique de la zone d'étude.

#### 4.1.2) Calcul de l'indice « DRASTIC » :

La calcul de l'indice de vulnérabilité se fait par la formule DRASTIC décrite à la définition de la méthode, les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité sont subdivisés en intervalles de valeurs significatifs et affectés d'une cotation numérique croissante en fonction de son importance dans la vulnérabilité, chaque paramètre est multiplier par Une valeur numérique appelée poids paramétrique, compris entre 1 et 5, est attribuée à chaque paramètre (tableaux suivants), reflétant son degré d'influence.

Les tableaux suivants montrent les notes typiques attribuées à chacun des sept paramètres et son poids :

**Tableau 03 :** Classes et notes retenues pour D.

Classe (m)	Note
9 - 15	5
15 - 22,5	3
22,5 - 30	2
>30	1

**Tableau 04 :** Classes et notes retenues pour R.

Classe (cm)	Note
5 - 10	3
10 - 17,5	6
> 25,5	9

**Tableau 05 :** Classes et notes retenues pour A.

Classe	Note typique
Calcaire	6
gravier et Sable	8

**Tableau 06 :** Classes et notes retenues pour S.

Classe	Note
Mince ou absent	10
Graviers	10
Sables	9
Limons sableux	6
Limons	4
Limons silteux	3
Argiles	1

**Tableau 07 :** Classes et notes retenues pour T.

Classes-en (degré)	Note
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1

**Tableau 08 :** Classes et notes retenues pour I.

Classe	Note typique
Argile	2
Argile et calcaire	3
Argile sableux	5
Gravier et argile	6
Gravier et calcaire	8

**Tableau 09 :** Classes et notes retenues pour C.

Classes-en (m/s)	Note
$32,9 \times 10^{-5} - 4,9 \times 10^{-4}$	6
$> 9,4 \times 10^{-4}$	9

**Tableau 10 :** Poids attribués aux paramètres DRASTIC.

Paramètre	Poids
D	5
R	4
A	3
S	2
T	1
I	5
C	3

La classification de l'indice de vulnérabilité DRASTIC couramment définit trois classes :

**Tableau 11 :** Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité DRASTIC.

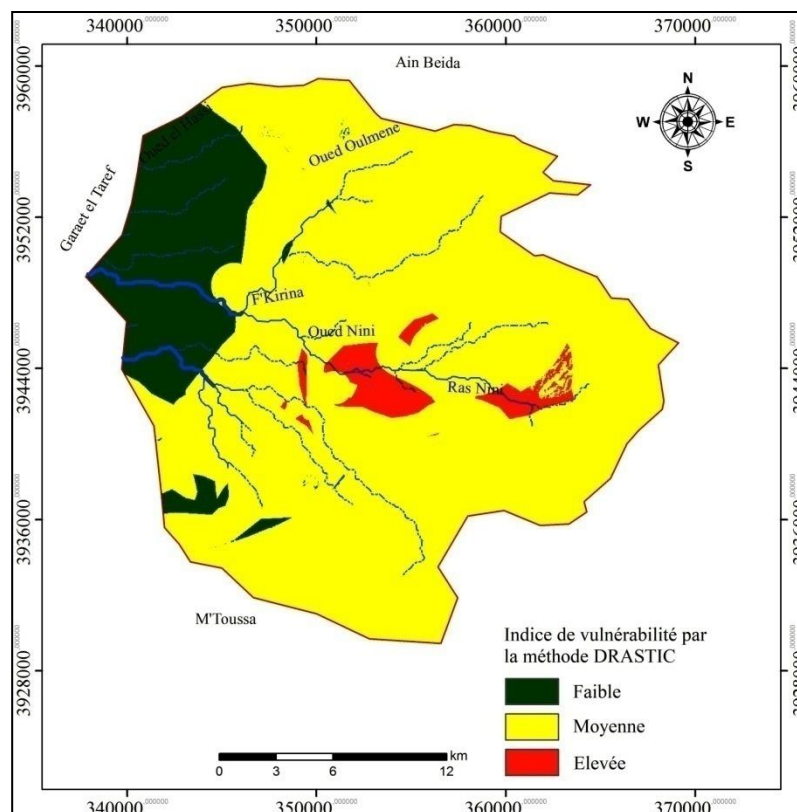
Degré de vulnérabilité DRASTIC	Index de vulnérabilité DI
Faible	61 - 120
Moyenne	121 - 160
Élevée	161 - 200

La carte obtenue montre trois classes de vulnérabilité par la méthode DRASTIC :

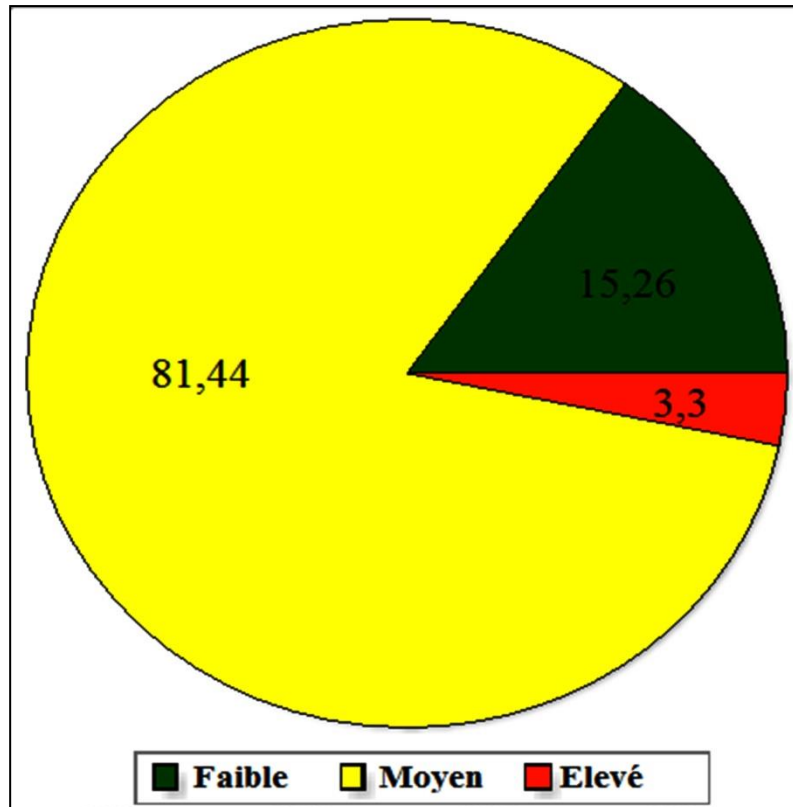
**-Vulnérabilité faible :** dans la partie Ouest de la plaine occupant 15,26 % de la superficie de la zone d'étude. Cette vulnérabilité est associée à la couverture argileuse (argile, argile sableux, gravier et argile) dans la zone non saturée, ce qui contribue à diminution de perméabilité, ainsi que la profondeur élevée à la nappe dans cette région (> 30m).

**-Vulnérabilité moyenne :** présente la classe dominante dans la région couvrant 81,44% de superficie de la zone d'étude, localisée presque dans toute la région. Les formations dans la zone non saturée sont des formations principalement argile sableux qui présente des formations peu perméables

**-Vulnérabilité forte :** dans la partie centre vers l'Est de la plaine couvrant 3,3% de la superficie de la zone d'étude. Dans cette classe les formations de la zone non saturée constituent principalement gravier et argile, et de gravier et calcaire donc on parle d'une forte perméabilité, ainsi que la faible profondeur à la nappe dans cette partie (9m - 15m) avec une recharge nette élevée (> 25,5 cm) ce qui facilite la mobilité des contaminants.



**Figure 21 :** Carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe de la zone d'étude par la méthode DRASTIC.



**Figure 22 :** Comparaison statistique entre les degrés de vulnérabilité DRASTIC (en %).

#### 4.2) La méthode SI (Susceptibility Index) :

##### 4.2.1) Détermination des paramètres du modèle « SI » :

Les cartes relatives aux quatre premiers paramètres nécessaires (D, R, A et T) ont été déjà préparées lors de l'élaboration des cartes DRASTIC. Donc dans cette méthode on s'occupe par la réalisation de la carte relative au paramètre occupation des sols (OS).

##### 4.2.1.1) Occupation du sol « OS » :

La carte d'occupation du sol de la zone d'étude a été extraite à partir de la carte globale de l'occupation des sols de l'Afrique (CCI LAND COVER - S2 PROTOTYPE LAND COVER 20M MAP OF AFRICA 2016) cette carte est réalisée par les observations du satellite européen Sentinel-2A pendant une année de 2015 à 2016. Cette carte montre que la région de F'kirina est une zone beaucoup plus à vocation agricole :

- 0,43% de la surface totale sont occupés par des zones couvertes d'arbres ;
- 8,23% sont des zones nues ;
- 33,44% sont des zones pastorales et agro-forestières ;

- 0,37% sont des zones urbaines discontinues ;
- La classe dominante est représentée par les périmètres irrigués avec 57,53% de la surface totale.

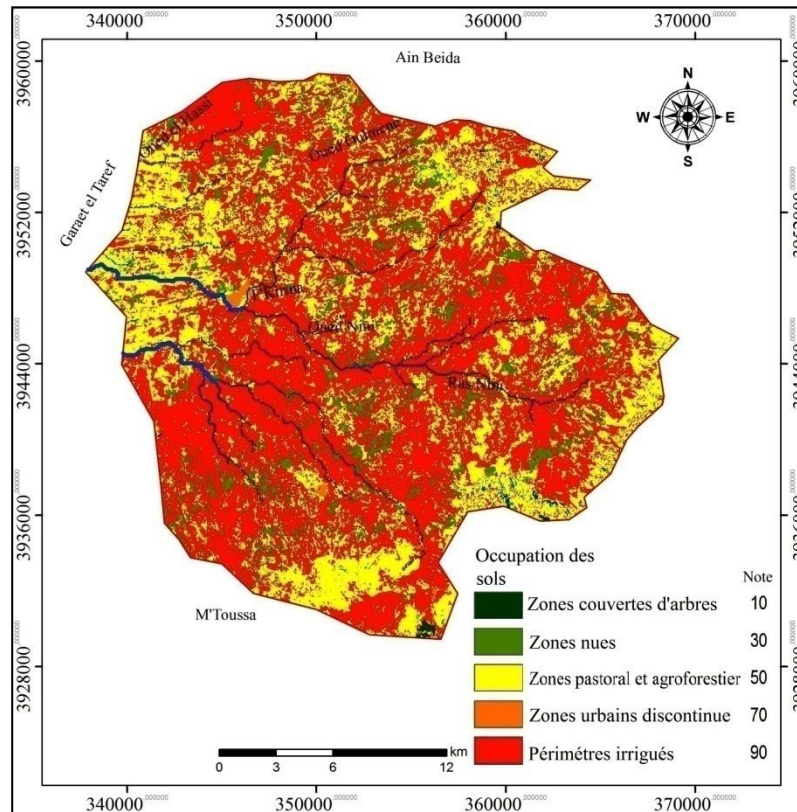


Figure 23 : La carte d'occupation du sol de la zone d'étude.

#### 4.2.2) Calcul de l'indice SI :

La méthode SI (Susceptibility Index ou méthode d'Indice de Susceptibilité), qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides). Les cotes correspondantes aux différentes classes des paramètres dans la méthode DRASTIC ont été également conservées. Un cinquième nouveau paramètre a été introduit : le paramètre occupation des sols (OS). La classification utilisée pour ce paramètre est la classification CORINE Land Cover (Tab. 12). On multiplie chaque paramètre par son poids (Tab. 13).

**Tableau 12 :** Classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes dans la zone d'étude.

<b>Occupation des sols selon la classification</b>	<b>Valeur du facteur d'occupation des sols</b>
<b>CORINE Land Cover</b>	<b>LU (Land use factor)</b>
Périmètres irrigués	90
Zones urbaines discontinues	70
Pâturages et zones pastorales agro-forestières.	50
Zones nues	30
Zones couverts d'arbres	10

**Tableau 13 :** Poids attribués aux paramètres SI.

<b>Paramètre</b>	<b>D</b>	<b>R</b>	<b>A</b>	<b>T</b>	<b>OS</b>
<b>Poids</b>	0,186	0,212	0,259	0,121	0,222

La classification de l'indice de vulnérabilité SI couramment définit quatre classes :

**Tableau. 14:** Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité SI

<b>Degré de vulnérabilité SI</b>	<b>Indice de vulnérabilité</b>
<b>Très faible</b>	> 45
<b>Faible</b>	45 - 64
<b>Moyenne</b>	65 - 84
<b>Elevée</b>	85 - 100

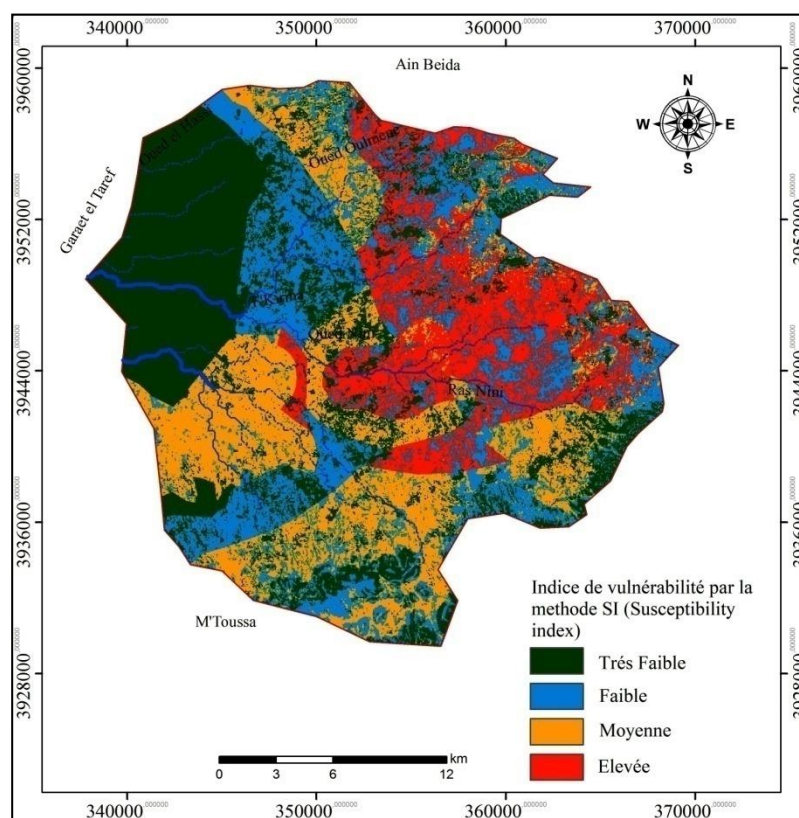
La carte obtenue montre quatre classes de vulnérabilité par la méthode SI :

- **Vulnérabilité Très faible** : principalement dans la partie Ouest de la région, couvrant 31,52% de la superficie totale, et elle est considéré comme la classe dominante dans la zone d'étude. Cette vulnérabilité est associée à la faible présence du périmètre irrigué dans cette partie de la zone, ainsi que, la profondeur de la nappe dans cette région est éloignée de la surface du sol (> 30 m), avec une faible valeur de recharge nette située entre 5 cm – 10 cm.

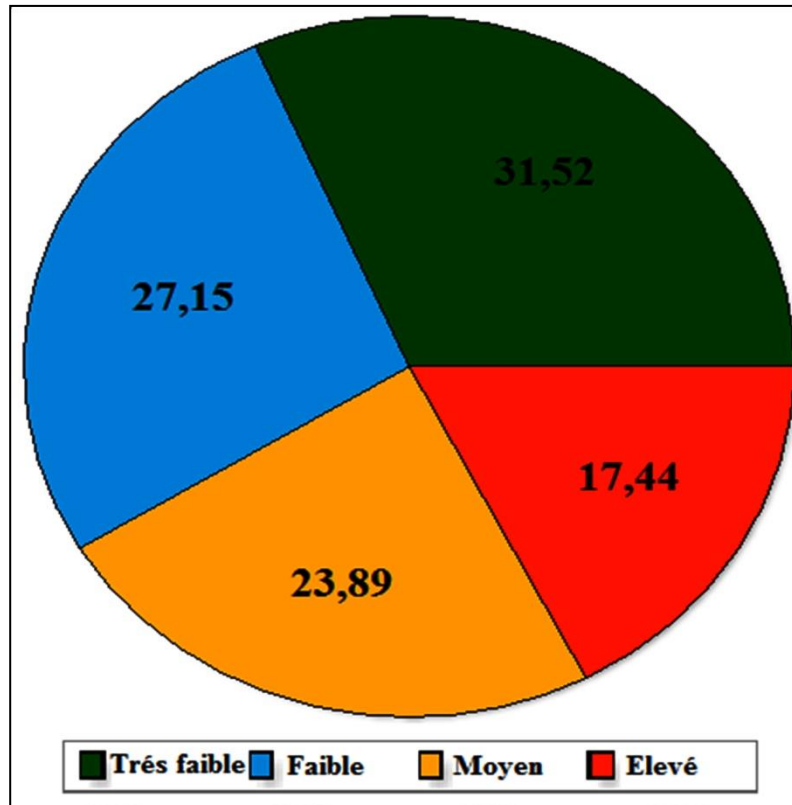
- **Vulnérabilité Faible** : dans la partie centre Ouest couvrant 27,15% de la superficie total. Cette vulnérabilité est associée à une diminution de profondeur (22,5m – 30m), et une augmentation de la valeur de la recharge nette (10 cm – 17,5 cm), couvrant une partie de la zone qui contient beaucoup plus des zones nues.

- **Vulnérabilité moyenne** : principalement dans la partie Est de la région, couvrant 23,89% de la superficie totale. Cette vulnérabilité moyenne est associée avec la profondeur modérée à la nappe et à l'occupation du sol (agropastorale et terre nue).

- **Vulnérabilité forte** : principalement dans la partie Est de région, couvrant 17,44% de la superficie totale. Cette vulnérabilité est associer une faible profondeur à la nappe (9m – 15m), et surtout l'occupation du sol par des surfaces importantes des périmètres irrigués.



**Figure 24** : Carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe de la zone d'étude par la méthode SI.



**Figure 25 :** Comparaison statistique entre les degrés de vulnérabilité SI (en %).

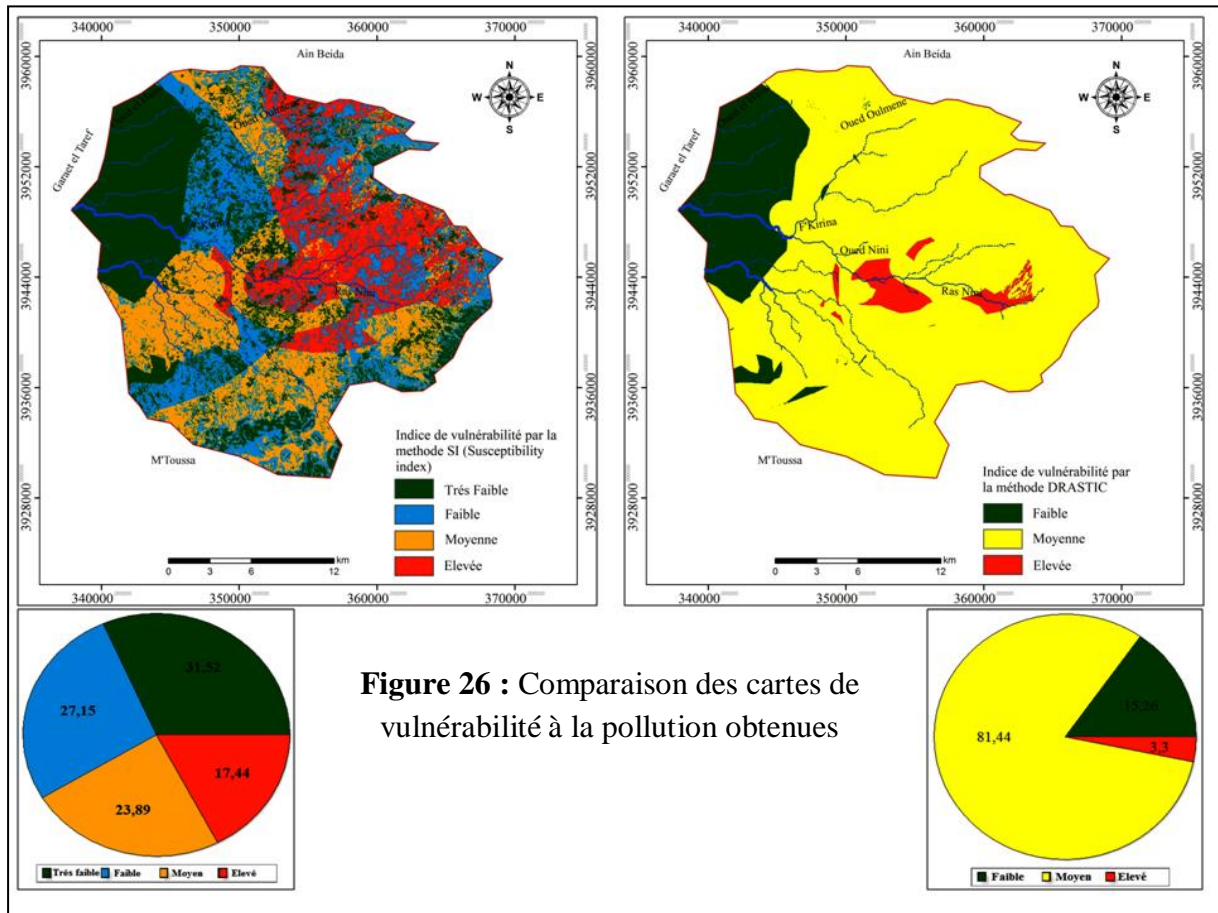
##### 5. Comparaison des cartes de vulnérabilité obtenues :

L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution a été réalisée à l'aide des méthodes DRASTIC et SI. Ce sont des méthodes de cartographie à index avec des pondérations. En ce qui concerne les cartes de vulnérabilité réalisées par les méthodes DRASTIC et SI, leur comparaison est intéressante, car elle permet de mettre en évidence les différences dans l'évaluation de la vulnérabilité.

En remarque l'absence de la classe très faible pour la méthode DRASTIC. Les deux méthodes donnent des résultats très différents pour le degré de vulnérabilité/ susceptibilité faible et, celui-ci représentant 15,26 % de la superficie totale selon DRASTIC, contre 27,15 % selon SI. On note que la classe très faible pour SI se ressemble beaucoup la classe faible pour la méthode DRASTIC.

Pour le degré de vulnérabilité/ susceptibilité moyen, les superficies fournies par DRASTIC et SI sont très différentes aussi, celui-ci représentant 81,44 % de la superficie totale selon DRASTIC, contre 23,89 % selon SI. Le degré de vulnérabilité/ susceptibilité élevé est très représenté selon SI (17,44 % du terrain d'étude), sensiblement moins selon DRASTIC (3,3 % du terrain d'étude).

Les zones à moyenne et forte vulnérabilité / susceptibilité se coïncident dans l'espace malgré la différence en termes de pourcentage.



**Conclusion**

La cartographie de la vulnérabilité permet de mieux préserver cette nappe et d’améliorer la gestion de ses ressources. Les cartes élaborées peuvent être utilisées comme outil d’aide à la décision en matière d’aménagement du territoire dans la région de F’kirina.

La comparaison des cartes de vulnérabilité à la pollution obtenue selon les méthodes DRASTIC et SI montre que les résultats sont très différents en termes de taux recouvrement, mais qu’ils ont un degré de similarité dans l’espace. Au niveau de la représentation de la vulnérabilité, la méthode SI permet d’obtenir une information plus fine. Cela est relié à l’importance de paramètre d’occupation du sol dans cette région sous climat semi-aride. Une validation de ces différentes méthodes de vulnérabilité utilisées mériterait d’être effectuée dans la région en établissant une comparaison des résultats qualitatifs et quantitatifs de la vulnérabilité avec les analyses de la qualité chimique des eaux.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

La plaine de F'kirina est située à l'Est de la wilaya d'Oum El Bouaghi, elle s'étendant sur une superficie de 650 km<sup>2</sup>, caractérisé par un étage climatique semi-aride froid et pluvieux en hiver- chaud et sec en été avec une température moyenne annuelle de 16,5°C et des précipitations moyennes annuelles de 407.2 (mm). Ses paramètres favorisent l'évapotranspiration (81.80 % des précipitations).

L'étude des caractéristiques géologiques et pédologiques de montre que la nappe phréatique se trouve dans des formations carbonatées de et sable graveleux et elle est surmontée par un sol calcaire à l'Est et par un sol sable graveleux dans le reste de la zone.

Le développement continu des activités anthropiques notamment l'activité agricole, l'exploitation irrationnelle des eaux souterraines par la zone industrielle, associé à des conditions naturelles particulièrement défavorables a contribué à l'infiltration et le transfert des polluants vers la nappe.

L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution agricole de cette nappe fait l'objet de cette étude. Les deux modèles DRASTIC et SI couplés aux SIG ont été appliquées.

La méthode DRASTIC utilise pour présenter la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère face à la percolation verticale des polluants à travers la zone non saturée et prend en considération sept paramètres qui sont la pente du terrain, la recharge efficace, le type de sol, la lithologie de la zone non saturée, le niveau piézométrique, la lithologie et la conductivité hydraulique de l'aquifère. Cette méthode montre que la nappe phréatique est exposée à la pollution, mais avec différents degrés en faisant ressortir trois classes : la première à vulnérabilité faible est localisée au niveau de l'Est de la région d'étude avec un taux d'occupation de 15,25 % de la superficie de la zone ; la deuxième est à vulnérabilité moyenne couvrant 81,44 % de la nappe localisée presque dans tout la région et la dernière est à vulnérabilité forte qui s'étend sur 3.3 % de la région au centre vers l'Est de la nappe.

Le modèle SI permet d'évaluer la vulnérabilité spécifique des eaux souterraines à la pollution agricole, prend en considération l'occupation du sol. On distingue quatre classes ; la première concerne la classe à très faible degré de vulnérabilité occupe 31,12 % à l'Ouest de la région. La deuxième à vulnérabilité faible couvrant 27,15 % de la superficie totale ; la troisième concerne la classe à moyen degré de vulnérabilité occupe environ 23,89 % de la

## Conclusion générale et recommandations

---

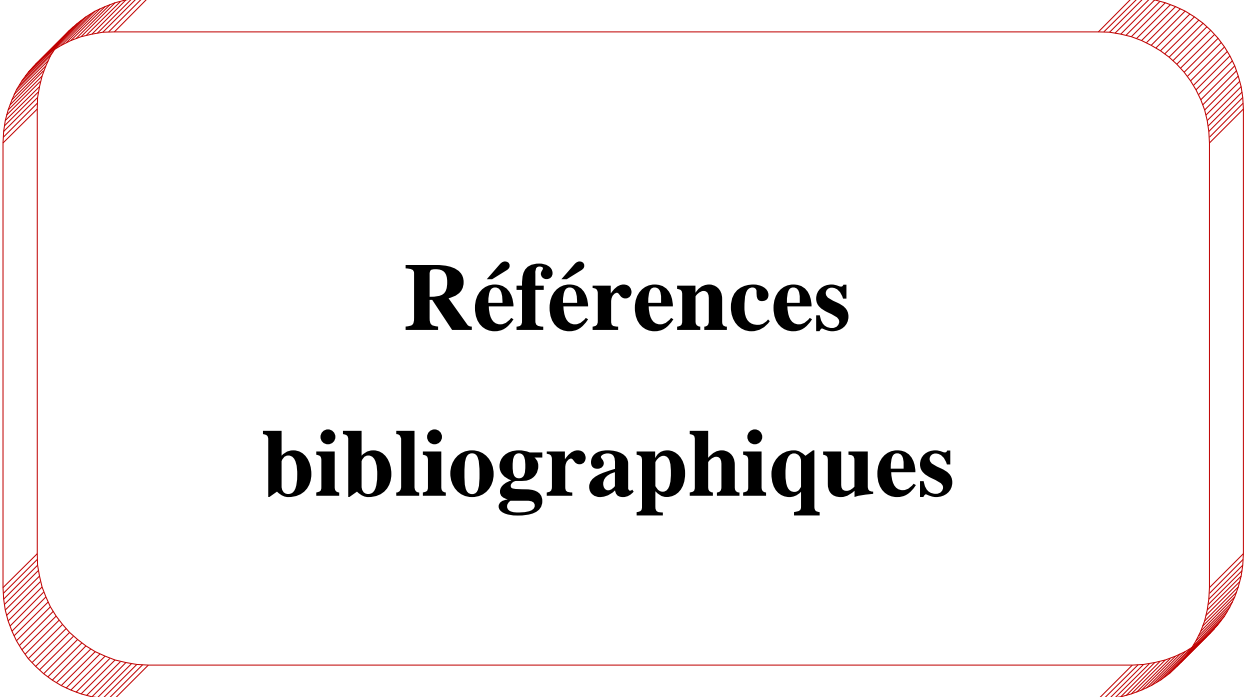
région d'étude et la dernière est localisée au centre vers l'Est de la région d'étude avec un taux d'occupation de 17,44 % de la superficie de la zone où la vulnérabilité est élevée.

La comparaison des cartes de vulnérabilité à la pollution obtenue selon les méthodes DRASTIC et SI montre que les résultats sont très différents en termes de taux recouvrement, mais qu'ils ont un degré de similarité dans l'espace. Au niveau de la représentation de la vulnérabilité, la méthode SI permet d'obtenir une information plus fine. Cela est relié à l'importance de paramètre d'occupation du sol dans cette région sous climat semi-aride.

Les cartes obtenues sont des cartes d'aide à la décision. Comme dans tout autre produit résultant de la manipulation ou traitement de jeux de données, ces cartes peuvent contenir des erreurs dont la source provient depuis l'acquisition de données, en passant par leur traitement ou du fait d'une couverture spatiale assez limitée des données. Pour une éventuelle exploitation de telles cartes, il est donc important que l'information sur les données, leur mode de traitement et la qualité des données soient rendus disponibles.

Des efforts restent à faire dans le domaine de la protection de ce réservoir en eau souterraine, les recommandations suivantes sont proposées pour affronter les défis de l'eau qui se présentent pour l'avenir dans la plaine de F'kirina:

- ✓ Mettre en place Un périmètre de protection immédiate dans les parties qui présente une vulnérabilité forte dans la zone d'étude, dans lequel l'activité agricole est interdite.
- ✓ Appliqué une surveillance continue de la qualité d'eau souterraine de la nappe de F'kirina pour bien définir les points et les zones qui présente une vulnérabilité forte a la pollution agricole.
- ✓ Renforcer les structures chargées de la gestion des nappes en moyens humains matériels et scientifiques, qui sont chargées de mettre en application la loi relative à la protection des aquifères. (La loi N°05-12 du 04 août 2005, relative à l'eau, traite de la protection et la Préservation des ressources en eau souterraine).
- ✓ Utiliser la télédétection comme paramètre de cartographie pour, évaluer et gérer les risques de contamination des eaux souterraines.
- ✓ Sensibilisation des usagers, notamment les secteurs de l'agriculture, d'utilisé les produits agrochimiques en respectant les normes, et d'appliqué des méthodes mécaniques ou biologiques au lieu d'utilisé les produits phytosanitaires concernant la lutte contre les mauvaises herbes, insectes, ravageurs.



**Références**  
**bibliographiques**

## Références bibliographique

---

- **Achour M. (2014)** : vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : cas de la vallée du m'zab (ghardaia-algérie). Mémoire magister. Université d'ORAN.
- **Albinet M. & Margat J. (1970)** : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, Bulletin BRGM 2ème série.
- **Aller L., Bennet T., Lehr J.H., Petty R.J. et Hacket G. (1987)**: DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potentiel using hydrogeological settings. US Environmental protection agency. EPA/600/2-87-036.
- **Association santé environnement France. (2010)**: Pollution de l'eau : Origines et impacts.
- **Baali F. (2007)** : Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi-aride. Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien. Mémoire magister. Université Badji Mokhtar ANNABA.
- **Badaoui A. et Benkelifa S. (2016)**: Etude hydrochimique des eaux souterraines de la zone de F'kirina. Mémoire master. Université Abbes Laghrour KHENCHELA.
- **Bézèlgues S et E. des Garets. (2002)** : Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe). In: Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 02EAU718.
- **Bézèlgues S., Dougaparsad M. (2002)**: Suivi piézométrique des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe), compte rendu des données acquises en 2001. BRGM/RP 51 445 FR.
- **Boucenna F. (2009)** : cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité a la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued djendjen (jijel, nord-est algerien). Mémoire magister. Université Badji Mokhtar ANNABA.
- **Cazaux M. (2007)**: Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de vulnérabilité Aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais, Mémoire de Stage, Rapport SMEGREG.
- **Charikh M. (2015)** : Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu aride: application à la cuvette de Ouargla. Mémoire magister. Université de kasdi merbah OUARGLA.
- **CNRS Strasbourg. (2007)**: Eau et environnement in Keddal et Yao N'dri
- **Denègre, Jean ; Salgé, François. (1996)** : Les systèmes d'information géographique, coll. Que-sais-je ?, vol. 3122, Paris, PUF, 1ère éd., 2001 2ème éd.

## Références bibliographique

---

- **Dozet S. (1985)** : Carte géologique de l'Algérie au 1/50000. Feuille 150. El Aouinet. Édit. Service de la carte géologique de l'Algérie.
- **Doerfliger N. (1996)**: Advances in karst groundwater protection strategy using artificial tracer tests analysis and multiattribute vulnerability mapping. This 3ème cycle. Université de Neuchâtel Suisse.
- **Foster S.S.D. (1987)**: fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy- vulnerability of soil and groundwater to pollutants. RIVM. TNO committee Hydrological research.
- **Fréchette R. (1987)**: Etude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines face aux risques de contamination engendrée par l'usage de pesticides. Institut National de la Recherche Scientifique, Québec.
- **Hamza M.H., Added A., Francés A., Rodriguez R. (2007)**: Validity of the Vulnerability methods DRASTIC, SINTACS and SI applied to the study Of nitrate pollution in the phreatic aquifer of Metline-Ras Jebel-Raf Raf (Northeastern Tunisia). Comptes Rendus Geoscience, Elsevier edition, 339, 493-505. Doi:10.1016/j.crte.2007.05.003.
- **Hemidi L. (2013)** : Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution. Université de kasdi merbah OUARGLA.
- **Joliveau T. (2006)**: Le rôle des systèmes d'information géographique dans la planification territoriale participative.
- **Koller E. (2004)**: traitement des pollutions industrielles, Dunod, Paris.
- **Kuscer D. (1985)** : Carte Géologique de l'Algérie au 1/50 000, feuille 177, La Meskiana. Inst. National de Cartographie, Alger.
- **Laurent F. (2012)**: Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Habilitation à diriger des recherches, Université du Maine Le Mans.
- **Mardhel V, Pinson S, Gravier A. (2005)**: Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région Nord-Pas-de-Calais BRGM. <http://www.nord-pas-de-calais.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/BRGM-RP-54238-FR.pdf>.
- **Noiset H. (2006)**: Méthodologie des SIG appliqués a l'histoire urbaine. Le Médiéviste et l'ordinateur,( Les systèmes d'information géographique) [En ligne] <http://lemo.irht.enrs.fr/44/histoire-urbaine.htm>ERGER.

## Références bibliographique

---

- **Othmanine A. (1987)** : Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et fer sidéritique autour du fossé de Tébessa-Morsott (Algérie). Relation entre paléogéographie aptienne, diapirisme, structure et métallogénie.
- **Petelet-giraud E., Doerfliger N., Crochet P. (2000)**: Méthode d'évaluation multicritère de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Application aux systèmes des fontilles et cents-font (Hérault, s. France).Soumis à hydrogéologie, 2000, 1 et 3 ANTEA Montpellier, BRGM Montpellier.
- **PNUD. (2009)** : Rapport mondial sur le développement humain.
- **Ribeiro L. (2000)**: Desenvolvimento de um índice para avaliar a susceptibilidade dos aquíferos à contaminação, Nota interna, (não publicada), ERSHA-CVRM.
- **Smida H. (2008)** : Apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une approche intégrée dans l'étude et la gestion des ressources en eau des systèmes aquifères de la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale). Université de Sfax TUNISIE.
- **Suais-parascandola M.F., Albinet M. (1983)**: Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, l'expérience française. Communication au séminaire sur les stratégies et pratique de protection des eaux souterraines. Thème III : CEE/ONU, Athènes.
- **Vila, Jean-Marie. (1977)** : Service géologique de l'Algérie, 1977.
- **Younssi H E. (2009)** : Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des ressources en Eau. Mémoire magistère. Université BADJI MOKHTAR-ANABA.
- **Zeghid K. (2013)** : cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines karstiques.cas du bassin versant du Meffrouche. Mémoire magister. Université de TLEMCEM.

## ***Résumé***

La plaine de Fkirina situé à l'extrémité Sud-Est de la wilaya de Oum-El Bouaghi, à la limite des hautes plaines constantinoises qui occupe une superficie de 650 Km<sup>2</sup>, représente une ressource économique jugée prioritaire du fait qu'elle est utilisée dans les domaines d'irrigation et de consommation domestique. L'aire de la nappe est occupée essentiellement par des zones agricoles caractérisées par une utilisation de plus en plus importante des engrais chimiques, en plus des rejets industrielles, qui représentent un risque permanent pour la qualité des eaux souterraines.

L'étude de la vulnérabilité à la pollution de cette nappe a été effectuée en appliquant les méthodes DRASTIC standard et SI dans un environnement SIG.

La comparaison des cartes de vulnérabilité obtenue montre que les résultats sont très différents en termes de taux recouvrement, mais qu'ils ont un degré de similarité dans l'espace. Au niveau de la représentation de la vulnérabilité, la méthode SI permet d'obtenir une information plus fine.

**Mots clés : Vulnérabilité, pollution, DRASTIC, SI, SIG, F'kirina, Algérie.**

## ***Abstract***

The Fkirina plain located at the southeastern end of the Wilaya of Oum-El Bouaghi, on the edge of the Constantine high plains covering an area of 650 Km<sup>2</sup>, represents a priority economic resource because it is used in areas of irrigation and domestic consumption. The area of the aquifer is mainly occupied by agricultural areas characterized by an increasing use of chemical fertilizers, in addition to industrial discharges, which represent a permanent risk for the quality of the groundwater.

The study of the vulnerability to pollution of this layer has been carried out by applying standard DRASTIC and SI methods in a GIS environment.

The comparison of the vulnerability maps obtained shows that the results are very different in terms of recovery rate, but that they have a degree of similarity in the space. At the level of the representation of the vulnerability, the SI method makes it possible to obtain a finer information.

**Key words: Vulnerability, pollution, DRASTIC, SI, GIS, F'kirina, Algeria.**

## ملخص

سهل فكيرينة يقع في الطرف الجنوبي الشرقي لولاية أم البواقي ، على حدود السهول العالية القسنطينية و الذي يغطي مساحة 650 كلم<sup>2</sup>، يمثل مورداً اقتصادياً ذا أولوية لأنه يستخدم في مناطق الري والاستهلاك المنزلي. إن مساحة طبقة المياه الجوفية مشغولة بشكل رئيسي بالمناطق الزراعية التي تتميز بالاستخدام المتزايد للأسمدة الكيماوية ، بالإضافة إلى المخلفات الصناعية ، والتي تمثل خطراً دائماً لجودة المياه الجوفية .

وقد تم تنفيذ دراسة قابلية تلوث هذه الطبقة من خلال تطبيق أساليب DRASTIC و SI القياسية في محيط GIS .

تبين مقارنة خرائط قابلية التلوث التي تم الحصول عليها أن النتائج تختلف اختلافاً كبيراً من حيث معدل الاسترداد ، ولكن لديها درجة من التشابه في في المساحة. على مستوى تمثيل القابلية، الطريقة SI تسمح بالحصول على معلومات أكثر دقة.

**الكلمات المفتاحية:** القابلية ، التلوث ، DRASTIC ، SI ، GIS ، F'kirina ، الجزائر.

## Résumé

La plaine de Fkirina situé à l'extrémité Sud-Est de la wilaya de Oum-El Bouaghi, à la limite des hautes plaines constantinoises qui occupe une superficie de 650 Km<sup>2</sup>, représente une ressource économique jugée prioritaire du fait qu'elle est utilisée dans les domaines d'irrigation et de consommation domestique. L'aire de la nappe est occupée essentiellement par des zones agricoles caractérisées par une utilisation de plus en plus importante des engrais chimiques, en plus des rejets industrielles, qui représentent un risque permanent pour la qualité des eaux souterraines.

L'étude de la vulnérabilité à la pollution de cette nappe a été effectuée en appliquant les méthodes DRASTIC standard et SI dans un environnement SIG.

La comparaison des cartes de vulnérabilité obtenue montre que les résultats sont très différents en termes de taux recouvrement, mais qu'ils ont un degré de similarité dans l'espace. Au niveau de la représentation de la vulnérabilité, la méthode SI permet d'obtenir une information plus fine.

**Mots clés : Vulnérabilité, pollution, DRASTIC, SI, SIG, F'kirina, Algérie.**

## Abstract

The Fkirina plain located at the southeastern end of the Wilaya of Oum-El Bouaghi, on the edge of the Constantine high plains covering an area of 650 Km<sup>2</sup>, represents a priority economic resource because it is used in areas of irrigation and domestic consumption. The area of the aquifer is mainly occupied by agricultural areas characterized by an increasing use of chemical fertilizers, in addition to industrial discharges, which represent a permanent risk for the quality of the groundwater.

The study of the vulnerability to pollution of this layer has been carried out by applying standard DRASTIC and SI methods in a GIS environment.

The comparison of the vulnerability maps obtained shows that the results are very different in terms of recovery rate, but that they have a degree of similarity in the space. At the level of the representation of the vulnerability, the SI method makes it possible to obtain a finer information.

**Key words: Vulnerability, pollution, DRASTIC, SI, GIS, F'kirina, Algeria.**

## ملخص

سهل فكيرينة يقع في الطرف الجنوبي الشرقي لولاية أم البواقي ، على حدود السهول العالية القسنطينية و الذي يغطي مساحة 650 كلم<sup>2</sup>، يمثل مورداً اقتصادياً ذا أولوية لأنه يستخدم في مناطق الري والاستهلاك المنزلي. إن مساحة طبقة المياه الجوفية مشغولة بشكل رئيسي بالمناطق الزراعية التي تتميز بالاستخدام المتزايد للأسمدة الكيماوية ، بالإضافة إلى المخلفات الصناعية ، والتي تمثل خطراً دائماً لجودة المياه الجوفية . وقد تم تنفيذ دراسة قابلية تلوث هذه الطبقة من خلال تطبيق أساليب DRASTIC و SI القياسية في محيط GIS .

تبيّن مقارنة خرائط قابلية التلوث التي تم الحصول عليها أن النتائج تختلف اختلافاً كبيراً من حيث معدل الاسترداد ، ولكن لديها درجة من التشابه في في المساحة. على مستوى تمثيل القابلية، الطريقة SI تسمح بالحصول على معلومات أكثر دقة.

**الكلمات المفتاحية: القابلية ، التلوث ، DRASTIC ، SI ، GIS ، F'kirina ، الجزائر.**