



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département Hydraulique et Génie Civil



Laboratoire de Recherche sur Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien

**Mémoire**  
**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine:** science Technique.

**Filière:** Hydraulique.

**Spécialité:** Ressources Hydriques

Présenté par: **BRELLA Djouhaina**

mémoire

***Vulnérabilité des Eaux Souterraines à la  
Pollution dans la Région de Touggourt***

Soutenu publiquement

le: 30 /06/2019

Devant le jury

Dr. DERDOUS Oussama  
Melle. TIDJANI Karima  
Dr. SAGGAI Sofiane

Président  
Examinatrice  
Encadreur

UKM Ouargla  
UKM Ouargla  
UKM Ouargla

Année Universitaire **2019/2020**

## ***Remerciements***

*Premièrement, je remercie **ALLAH** le tout puissant de m'avoir accordé la volonté et le courage pour réaliser cette mémoire.*

*Un grand merci à mon directeur de travail de recherche **SAGGAI Sofiane**, maitre conférence classe A l'université Kasdi Merbah Ouargla , d'avoir accepter de me prendre en charge et pour le temps consacrer dans ce travail, merci pour le soutien permanant et la confiance qu'il m'à accordée.*

*Mes remerciements les plus élogieux à monsieur **BENZAOUI Tidjani** (center de recherche à Touggourt) et monsieur **ZAHRONA** directeur de l'ANRH Pour les aides et de ma voire donner les informations précieuses.*

*Mes remerciements à toue le personnelles du CTH.*

*Enfin je tiens à remercier le membre de jury d'avoir accepté de juger ce modest travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail de recherche:*

*A celle qui m'a donné leur amour, leur tendresse et il n'a pas hésité de m'aider je veux leur montrer que leur contribution n'a pas été vaine. Je leur suis redevable et reconnaissante.*

*A mon cher père.*

*A Ma chère maman.*

*A mes frères et mes sœurs*

*A toute ma famille*

*A tout les professeurs de spécialité ressource hydraulique*

*A tout mes collègues*

*A tout amés amis*

*A tout les étudiant de spécialisés Ressource en eau*

| <i>N°</i> | <i>Tableau</i>  | <i>Page</i> |
|-----------|---|-------------|
| <b>1</b>  | Les critères de la vulnérabilité (B.R.G.M..2008).               | <b>05</b>   |
| <b>2</b>  | Données climatiques de la région Touggourt (2008-2017).         | <b>15</b>   |
| <b>3</b>  | Données sur les forages d'El Annet.                             | <b>21</b>   |
| <b>4</b>  | Les paramètres méthode DRASTIC (Aller et al 1987)               | <b>23</b>   |
| <b>5</b>  | Classification et notation de la profondeur de la nappe         | <b>24</b>   |
| <b>6</b>  | Classification et notation de la Recharge nette                 | <b>24</b>   |
| <b>7</b>  | Classification et notation de la lithologique de l'aquifère     | <b>25</b>   |
| <b>8</b>  | Classification et notation du type de sol.                      | <b>25</b>   |
| <b>9</b>  | Classification et notation de la topographie                    | <b>25</b>   |
| <b>10</b> | Classification et notation de l'impacte de la zone non saturée. | <b>26</b>   |
| <b>11</b> | Classification et notation de perméabilité.                     | <b>26</b>   |
| <b>12</b> | Degré de la vulnérabilité de la méthode DRASTIC.                | <b>27</b>   |
| <b>13</b> | Les paramètres méthode SI.                                      | <b>28</b>   |
| <b>14</b> | Classification et valeur du facteur d'occupation de sol.        | <b>29</b>   |
| <b>15</b> | Degré de vulnérabilité de la méthode SI.                        | <b>30</b>   |
| <b>16</b> | Calcule la pente de terrain(T).                                 | <b>33</b>   |
| <b>17</b> | Paramètres DRASTIC à chaque forages.                            | <b>34</b>   |
| <b>18</b> | Notation à chaque forage selon paramètre DRASTIC.               | <b>35</b>   |
| <b>19</b> | Résultat de méthode DRASTIC (Degré de vulnérabilité).           | <b>36</b>   |
| <b>20</b> | Paramètres SI à chaque forages.                                 | <b>38</b>   |
| <b>21</b> | Notation à chaque forage selon paramètre SI.                    | <b>39</b>   |
| <b>22</b> | Résultat de méthode SI.   | <b>40</b>   |

*Liste des figures*

| <i>N°</i> | <i>Figures</i>  | <i>Page</i> |
|-----------|---|-------------|
| <b>1</b>  | Carte de situation géographique de Touggourt.                         | <b>14</b>   |
| <b>2</b>  | Coupe hydrogéologique du Complexe Terminale du Sahara Algérien.       | <b>20</b>   |
| <b>3</b>  | La coupe lithologique d'un forage de la région El Annet (ANRH Tougg). | <b>22</b>   |
| <b>4</b>  | Photos la région El Annet (Google Earth).                             | <b>31</b>   |
| <b>5</b>  | Niveau statistique de forage.   | <b>32</b>   |
| <b>6</b>  | Carte de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC.                     | <b>37</b>   |
| <b>7</b>  | Carte de la vulnérabilité par la méthode SI.                          | <b>41</b>   |

---

## *Abréviation*

**ANRH:** Agence Nationales Ressources Hydrauliques.

**CI:** Continentale Intercalaire.

**CT:** Complexe Terminal.

**GOD:** Groundwater occurrence Overall lithology of aquifer or aquitard and  
Depth to groundwater table .

**NPP:** Nappe Phréatique.

**NS:** Niveau Statique.

**OFEFP:** Office Fédéral de l'Environnement des Forêts du Paysage.

**ONM:** Office National de la Météorologie.

**OS:** Occupation de Sol.

**SI:** Susceptibility Index .

**TM:** Moyenne mensuelle des Températures maximales

**Tm:** Moyenne mensuelle des Températures minimales

**Tmoy:** Températures moyenne annuelle

**ZNS:** Zone Non Saturée.

**ZS:** Zone Saturé.

|  |           |
|--|-----------|
| <b><i>Introduction Générale</i></b>                              | <b>01</b> |
| <b><i>Chapitre I: Généralités Sur Vulnérabilité</i></b>          |           |
| 1-Définition de la Vulnérabilité.                                | <b>03</b> |
| 2- Les types de Vulnérabilité.                                   | <b>04</b> |
| 2-1 La vulnérabilité intrinsèque.                                | <b>04</b> |
| 2-2 La vulnérabilité spécifique.                                 | <b>04</b> |
| 3- Les critères de vulnérabilité.                                | <b>04</b> |
| 4- Méthodes de la vulnérabilité.                                 | <b>05</b> |
| Les méthodes de cartographies à index.                           | <b>05</b> |
| Les modèles de simulation.                                       | <b>06</b> |
| Les méthodes statistiques.                                       | <b>06</b> |
| 5- Les différentes méthodes de la vulnérabilité à la pollution . | <b>06</b> |
| 5-1 La méthode DRASTIC.  | <b>06</b> |
| 5-2 La méthode EPIK.   | <b>07</b> |
| 5-3 La méthode RISKE.  | <b>08</b> |
| 5-4 La méthode DISCO.  | <b>09</b> |
| 5-5 La méthode GOD.  | <b>10</b> |
| 5-6 La méthode SINTACS.  | <b>10</b> |
| 5-7 L'approche européenne(O.C.P.K).                              | <b>11</b> |
| 5-8 La méthode SI.   | <b>12</b> |
| 6- Définition la pollution.                                      | <b>13</b> |
| 7- Contamination des eaux souterraines.                          | <b>13</b> |
| <b><i>Chapitre II: Présentation de la région</i></b>             |           |
| Introduction.  | <b>14</b> |
| 1- Situation géographique.                                       | <b>14</b> |
| 2- Climatologie.   | <b>15</b> |
| 2-1 Etudes des paramètres climatiques.                           | <b>16</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 2-1-1 Température.   | <b>16</b> |
| 2-1-2 Précipitation.   | <b>16</b> |
| 2-1-3 Humidité relative.                                       | <b>17</b> |
| 2-1-4 Vitesse de vente.  | <b>17</b> |
| 2-1-5 Evaporation.   | <b>17</b> |
| 2-1-6 Insolation.  | <b>17</b> |
| 3- Ressource en eaux.  | <b>17</b> |
| 3-1 Eaux de surface.   | <b>18</b> |
| 3-1-1 Les lacs.  | <b>18</b> |
| 3-1-2 Canal de l'oued Righ.                                    | <b>18</b> |
| 3-2 Eaux de souterraines.                                      | <b>18</b> |
| 3-2-1 Nappe phréatique(NPP) .                                  | <b>18</b> |
| 3-2-2 Continentale Intercalaire(CI).                           | <b>19</b> |
| 3-2-3 Complexe Terminal(CT) .                                  | <b>19</b> |
| Conclusion.  | <b>20</b> |
| <b><i>Chapitre III: Regroupement et Analyse de Données</i></b> |           |
| Introduction.  | <b>21</b> |
| 1- Les forages dans la zone.                                   | <b>21</b> |
| 2- La coup lithologique de la zone étude.                      | <b>22</b> |
| 3- Méthode DRASTIC.  | <b>22</b> |
| 4- Classe et note des paramètres méthode DRASTIC.              | <b>24</b> |
| 4-1 Profondeur de la surface de la nappe(D).                   | <b>24</b> |
| 4-2 Recharge nette(R).   | <b>24</b> |
| 4-3 Nature lithologique de l'aquifère(A).                      | <b>24</b> |
| 4-4 Type de sol(S).  | <b>25</b> |
| 4-5 Topographique(T).  | <b>25</b> |
| 4-6 Impacte de la zone non saturée(I).                         | <b>26</b> |
| 4-7 Conductivité(C).   | <b>26</b> |



|   |           |
|---|-----------|
| 5-Méthodologies d'application de la méthode DRASTIC.                            | <b>26</b> |
| 6-Détermination du degré de vulnérabilité de la méthode DRASTIC.                | <b>27</b> |
| 7- Méthode SI.  | <b>28</b> |
| 8-Classe et note des paramètres méthode SI.                                     | <b>28</b> |
| 8-1 L'occupation des sols.  | <b>29</b> |
| 9- Méthodologies d'application de la méthode SI.                                | <b>29</b> |
| 10-Détermination la Critères d'évaluation de la vulnérabilité de la méthode SI. | <b>30</b> |
| Conclusion.   | <b>30</b> |
| <b><i>Chapitre IV: Résulta et Discussion</i></b>                                |           |
| 1- Situation géographique de la zone d'étude.                                   | <b>31</b> |
| 2- Application de méthode DRASTIC.  | <b>32</b> |
| 2-1 Profondeur de la surface de la nappe(D).                                    | <b>32</b> |
| 2-1-1 Niveau statique de forage.  | <b>32</b> |
| 2-2 Recharge nette(R).  | <b>33</b> |
| 2-3 Nature lithologique de l'aquifère(A).                                       | <b>33</b> |
| 2-4 Type de sol(S).   | <b>33</b> |
| 2-5 Topographique (pente du terrain).   | <b>33</b> |
| 2-6 Impacte de la zone non saturée(I).  | <b>34</b> |
| 2-7 Conductivité (Perméabilité) (C).  | <b>34</b> |
| 2-8 Résultats numériques de la méthode DRASTIC.                                 | <b>35</b> |
| 2-9 Carte de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC.                           | <b>37</b> |
| 3- Application de méthode SI.   | <b>38</b> |
| 3-1 Résultat numérique de la méthode SI.  | <b>39</b> |
| 3-2 Carte de la vulnérabilité par la méthode SI.                                | <b>41</b> |
| 5-Discussion.   | <b>42</b> |
| Conclusion Générale   | <b>43</b> |
| Bibliographie   | <b>45</b> |

## *Introduction Générale*

L'eau est vitale pour la survie, la santé et la dignité de l'homme, et aussi une ressource fondamentale pour le développement humain. Les réserves d'eau souterraines sont sous une pression croissante.

L'eau souterraine source de vie étant de plus en plus demandée, et ainsi la protection de celle-ci contre les sources de pollution devient primordiale. En grande la plupart des cas de contamination sont associés à des conditions hydrogéologiques défavorables où l'aquifère est peu protégé contre l'infiltration directe des polluants. (Yahiaoui N et Arzika A .2017)

A cet égard la prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante, à travers en étudiant la vulnérabilité et le risque de pollution des eaux des nappes souterraines.

La vulnérabilité est un terme introduit en hydrogéologie par Margat dans les années 60. Il est défini et utilisé de manière très diverse (Lallemand Barres et Roux, 1989 .Lallemand Barres, 1994.Gogu et Dassargues ,1998). Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères, d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique.

L'eau souterraine des nappes de Touggourt sont susceptible à la pollution multiforme. Ces ressources en eau sont toutefois menacées par plusieurs facteurs dont: eaux usées domestique non traitées, surexploitation et l'utilisation intensive des engrais et pesticide....et.

L'objectif de cette étude est d'évaluer le degré de la vulnérabilité et le risque de pollution des ressources en eaux souterraines des aquifères de la région de Touggourt à savoir la nappe de mio-pliocène en utilisant deux méthodes de détermination de degré de vulnérabilité. Il est donc possible de définir les zones sensibles dans lesquelles une pollution peut affecter gravement une nappe et d'avoir une idée des moyennes à employer, pour protéger cette nappe.

Pour cela notre document est structuré comme suit:

Un premier chapitre qui porte sur une étude bibliographique de la vulnérabilité et différentes méthodes de mesure de la vulnérabilité.

Un deuxième chapitre dans lequel nous présentons le site d'étude à savoir la région touggourt et donnons les principales caractéristiques climatologiques et données des ressources en eau dans la région.

Un troisième chapitre dans lequel nous exposons le recensement et l'analyse des données pour la mesure de la vulnérabilité.

Un quatrième chapitre qui porte sur l'application de la méthode DRASTIC et SI pour la classification de la vulnérabilité le périmètre agricole et la discussion des résultats obtenus.

A la fin du document nous avons une conclusion générale qui vient réexposer la problématique donner les étapes de travail répondre les résultats obtenus et propose des recommandations.

***1- Définition de vulnérabilité:***

La vulnérabilité est un terme introduit en hydrogéologie par Margat dans les années 60. Il est défini et utilisé de manière très diverse (Gogu et Dassargues 1998, Lallemand Barres 1994 , Lallemand barres et Roux 1989). Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères, d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface. (Saadia A et al 2007)

Ainsi, elle matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle et.....) ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides). (Stéphanie Pin et al 2007 )

Alors, la vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique, Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles: le sol, la zone non saturée, la zone saturée. (Malaki A et al.2007).

A ces trois milieux peut se rajouter l'infiltration qui rentre en compte dans la migration des polluants. (Cazaux M. 2007)

## **2- Les types de vulnérabilité:**

Le concept de vulnérabilité englobe deux notions différentes ou deux types de vulnérabilité intrinsèque et spécifique.(Bakalowicz M. 1999)

### **2-1 La vulnérabilité intrinsèque:**

C'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. (Muet F et Vier E .2011,B.R.G.M. 2008)

### **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. (Muet F et Vier E.2011, B.R.G.M .2008)

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique directement liée aux polluants éventuels est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis. (Muet F et Vier E .2011,B.R.G.M 2008).

## **3- Les critères de vulnérabilité:**

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration, soit sur son temps de transfert. Elle est évaluée en prenant en compte les caractéristiques du sol, de la zone saturée et de la zone non saturée qui contrôle le comportement des polluants. Un certain nombre de critères sont disponibles, ils sont associés aux ensembles souterrains (le sol, la zone saturée, la zone non saturée), sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tableau 1 : Les critères de vulnérabilité (B.R.G.M..2008).

| Sol  | Zone non saturée (ZNS)   | Zone saturée   |
|--|--|--|
| Topographie<br>(pente)   | Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS  | Type de nappe<br>(libre ou captive)  |
| Pédologie<br>(perméabilité verticale des sols, nature et texture des sols) | Temps de transfert<br>(perméabilité verticale)   | Temps de résidence<br>(dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères)                          |
| Bilan hydrique (ruissellement et infiltration efficace)                    |  | Relation eaux souterraines/eaux superficielles   |
|  | Structure de la ZNS<br>(variation de faciès, épaisseur des discontinuités de faciès, position dans le profil vertical, texture, teneur en matière organique et argile) | Piézométrie<br>(sens et direction d'écoulement et évolutions selon la période du cycle hydrologique) |
|  | Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci   | Epaisseur de l'aquifère<br>(quantité de réserve)   |
|  |  | La recharge<br>(recharge annuelle nette).  |
|  |  | Type de système hydrogéologique<br>(caractères plus ou moins capacitif et transmissif)               |
| Battement de nappe   |  |  |
| Fracturation (directions et densité)                                       |  |  |

#### 4- Méthodes de la mesure la vulnérabilité:

Plusieurs méthodes de cartographie de la vulnérabilité ont été développées et appliquées. De nombreuses méthodes de cartographie de la vulnérabilité ont été décrites et évaluées. (Bensaoula F et Bensalah M. 2007)

Allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimique et biologiques dans la zone noyée, a des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité. (SUAIS M.F et al 1990).

Ces méthodes de vulnérabilité peuvent être classées en trois grandes catégories :

➤ Les méthodes de cartographies à index:

Basées sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple). (SUAIS M.F et al 1990)

➤ **Les modèles de simulation:**

Ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert de contaminants. (Schnebelen.2002)

➤ **Les méthodes statistiques:**

Elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude. (SUAIS M.F et al 1990)

**5- Les différentes méthodes de la vulnérabilité à la pollution:**

Différentes méthodes de vulnérabilité développées et normalisées sont présentées. Toutes ces méthodes sont basées sur des systèmes paramétriques : le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité. (Mimoun D et Graillet D.2010)

Les différentes méthodes sont comme suite:

**5-1 La méthode DRASTIC:**

La méthode la plus utilisée actuellement dans le monde est la méthode DRASTIC. C'est une méthode qui a été élaborée par Aller et al en 1987 et fait partie du groupe des méthodes d'évaluation (de la vulnérabilité des aquifères) pondérées, basées sur l'attribution d'une notation aux différents paramètres utilisés (variant généralement entre 1 et 10). (Hamza H et al 2008, Cheng Yu et al .2012).

La méthode DRASTIC est basée sur l'estimation de 7 paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère. (SinanM.et al, 2003)

**[D]:** Profondeur de la surface de la nappe (ou Depth). **[R]:**Recharge nette. **[A]:**Nature lithologique de l'Aquifère. **[S]:**Sol (granulométrie et faciès). **[T]:**Topographie des terrains. **[I]:** Impact de la zone non saturée (lithologie et

épaisseur). [C]:Conductivité hydraulique (perméabilité).

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, la méthode détermine l'indice DRASTIC (ID) qui permet de caractériser le degré de vulnérabilité d'un secteur donné, de la nappe. La vulnérabilité est d'autant plus importante que l'indice (ID) calculé est élevé. L'ID a été calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants selon la relation suivante:

$$ID = (Dc \times Dp) + (Rc \times Rp) + (Ac \times Ap) + (Sc \times Sp) + (Tc \times Tp) + (Ic \times Ip) + (Cc \times Cp)$$

Avec:

"P" étant le poids du paramètre c'est un facteur de pondération allant de 1 à 5.

"C" la cote associée. (Cheng Yu et al .2012)

### 5-2 La méthode EPIK :

C'est la première méthode dédiée spécifiquement aux aquifères karstiques sensu-stricto (Doerfliger, 1996 ; Doerfliger et Zwahlen, 1997).

Elle est basée sur quatre critères : Epikarst , Protective Cover (couverture protectrice: sol) ,Infiltration Conditions(conditions d'infiltration),Karst network développement (développement du réseau karstique).

La méthode EPIK est une méthode multicritères à indices qui prend en compte quatre critères principaux. (Ravbar N et al 2007):

- **"E" L'épikarst** : son degré de développement conditionne une infiltration plus ou moins rapide de l'eau dans le toit du substratum calcaire.
- **"P" La couverture protectrice** : son épaisseur est un facteur déterminant sur le temps de transit de l'eau depuis la surface du sol, jusqu'au toit de la formation calcaire.
- **"I" Les conditions d'infiltration** : elles caractérisent une infiltration diffuse et lente ou concentrée.
- **"K" Le développement du réseau karstique** : il détermine la rapidité des écoulements au sein de l'aquifère karstique.



$$F = \alpha E_i + \beta P_j + \gamma I_k + \delta K_i$$

Avec:

F: valeur de la facture de protection.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ : coefficient de pondération de chacun de critères.

$E_i, P_j, I_k, K_i$ : valeur de chacun de critères indexés.(OFEFP1998)

### 5-3 La méthode RISKE:

Cette méthode s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécificité karstique. RISKE est un acronyme qui reprend les initiales des 5 critères pris en compte : Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification, Epikarst .

Elle est basée sur cinq critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure des aquifères karstiques qui sont ( Dörfliger N et al.2005. Dörfliger N et al.2004):

- **R:** pour la roche aquifère : (lithologie et fracturation) la nature des formations géologiques peut influencer sur la circulation de l'eau, et donc des polluants potentiels, à l'intérieur de l'aquifère.
- **I:** pour les conditions d'infiltration : (infiltration diffuse / infiltration Ponctuelle) les deux paramètres primordiaux retenus sont la pente qui va plus ou moins favoriser le ruissellement au détriment de l'infiltration et les pertes qui vont permettre une infiltration directe et très rapide de l'eau jusqu'à l'aquifère.
- **S:** pour le sol et la couverture protectrice (la teneur en cailloux, la texture et l'épaisseur) Les formations pédologiques forment une couverture protectrice au dessus des roches aquifères. Il est donc important d'évaluer le pouvoir protecteur et/ou régulateur de ces horizons vis-à-vis de polluants potentiels.
- **K:** pour le degré de développement de la karstification : La karstification du milieu est l'un des paramètres les plus importants qui conditionnent la vulnérabilité. Ce critère permet de caractériser la vulnérabilité du milieu souterrain. Le développement du réseau karstique est donc à évaluer à partir de différentes méthodes, telles que l'analyse des hydro grammes de crues. (estimation du degré de karstification).

- **E:** pour l'Epikarst.

$$I_g = rR_{0.4} + iI_{0.4} + pP_{0.4} + kK_{0.4}$$

Avec:

$I_g$  : indice global de vulnérabilité.

$i > r > p > k > 0.1$  et  $\Sigma(\text{indices de pondération}) = 1$ .

#### 5-4 La méthode DISCO:

La méthode "DISCO" (discontinuités - couverture protectrice) a pour but de définir les zones de protection en tenant compte de l'hétérogénéité du milieu. Trois paramètres sont nécessaires et suffisants pour évaluer le transport d'un polluant d'un point quel conque du bassin d'alimentation jusqu'à son arrivée au captage : le paramètre "discontinuités" ; le paramètre "couverture protectrice" ; le paramètre "ruissellement" englobe les phénomènes d'écoulement de l'eau en surface avant son infiltration (ruissellement de pente, cours d'eau permanents ou temporaires).

Le report sur cartes, la combinaison et la pondération de ces paramètres permettent de déterminer un facteur de protection final  $F$  pour chaque partie du bassin d'alimentation.

Les zones de protection des eaux souterraines sont alors déterminées en attribuant une valeur du facteur de protection à chacune des zones S1, S2 et S3 en délimitant les zones S. ( BRGM 1994)

Le facteur de protection final  $F$  de vulnérabilité est évalué selon la formule suivante:

$$\text{Vulnérabilité(DISCO)} = 0.5D + 0.3R + 0.2S$$

Avec: **D** : Discontinuités, **P** : couche protectrice, **R** : Ruissellement. ( Zwahlen F 2004 Fellah H.S. 2012).

### 5-5 La méthode GOD:

Ce système a été développé par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères : le degré de confinement **C<sub>i</sub>**, la profondeur de la nappe **C<sub>p</sub>** et la lithologie des couches de la zone non saturée de l'aquifère **C<sub>a</sub>**. (Murat et al .2003)

$$\mathbf{IG = C_a \times C_l \times C_i}$$

Avec:

IG: l'indice de GOD.

C<sub>a</sub>: type d'aquifère.

C<sub>l</sub>: l'lithologique d'aquifère.

C<sub>i</sub>: profondeur de la nappe.

### 5-6 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. (Hamza H et al 2008)

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**: profondeur de la nappe.
- **I**: infiltration.
- **N**: fonction de la zone non saturée.
- **T**: pente moyenne de la surface topographique.
- **A**: caractéristique hydrogéologiques de l'aquifère.
- **C**: conductivité hydraulique.
- **S**: sol.

$$I_s = (S_c \times S_p) + (I_c \times I_p) + (N_c \times N_p) + (T_c \times T_p) + (A_c \times A_p) + (C_c \times C_p) + (S_c \times S_p)$$

Avec:

$I_s$ : l'indice de SINTACS.

C: cote du paramètre considère.

P: cote du paramètre de poids.

### 5-7 L'approche européenne (O.C.P.K.):

L'approche européenne pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque proposée par COST 620, DALY et al. 2001, est un modèle très flexible qui peut être adapté à différents milieux aquifères. (Zwahlen F. 2004. Bensaoula F.2006)

L'approche COST 620 est basée sur une démarche itérative afin d'évaluer le risque de contamination d'un aquifère en tenant compte des caractéristique particulières d'un milieu karstique.

L'objectif de COST 620 était de développer de nouveaux outils qui puissent assister les décisions en termes d'aménagement des zones karstiques européennes et protéger sur le long terme ces ressources face aux dangers de pollutions potentielles générées par les activités anthropiques.

Elle définit des concepts et des principes qui sont considérés comme universels et applicables à toute la gamme de karst en Europe. (Zeghid K 2013)

L'approche européenne utilise quatre critères pour déterminer la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique. Dans ce modèle conceptuel quatre facteurs, O, C, P et K sont mis en jeu:

- **O (over la ying la yers):** correspondent à la couche couvertures de sol pouvant être définies comme protectrices ou vulnérables vis-à-vis de l'infiltration.
- **C (concentration of flow):** ou concentration de l'écoulement: Ce facteur représente le degré de concentration des précipitations vers les endroits qui permettent une infiltration rapide. Si cette infiltration est diffuse ce facteur

n'est pas déterminant. Le degré de concentration dépend des paramètres qui contrôlent le ruissellement tel que la pente, les propriétés de surface (telle que la perméabilité), la végétation, la présence d'éléments qui concentrent l'écoulement (telles que les pertes et les zone à forte perméabilité).

- **K (Karst network development):** rend compte du degré de développement du système karstique, notamment de son réseau de drainage de la zone saturée.
- **P (Precipitation régime):** qui fait intervenir un facteur externe au système. Il considère le régime des précipitations (quantité annuelle, intensité, fréquence et durée). Ce facteur influe sur l'infiltration et la recharge de l'aquifère et par conséquent le transport du polluant et sa dilution au sein de l'aquifère.

#### 5-8 La méthode SI:

Qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides), a été développée au Portugal par RIBEIRO (2000). Cette méthode prend en considération cinq paramètres. Les quatre premiers paramètres sont identiques à quatre paramètres déjà utilisés dans la méthode DRASTIC

- D : la profondeur de la nappe
- R : la recharge efficace de l'aquifère
- A : la lithologie de l'aquifère
- T : la pente topographique du terrain).

Les cotes correspondantes aux différentes classes de ces paramètres, dans la méthode DRASTIC, ont été également conservées. Un cinquième nouveau paramètre a été introduit et c'est le paramètre occupation des sols (OS). (EWODO MBOUDOU G et al 2016)

$$I_{SI} = (D_c \times D_p) + (R_c \times R_p) + (A_c \times A_p) + (T_c \times T_p) + (O_{sp} \times O_{sp})$$

**6- Définition la pollution:**

Le terme « pollution » peut être défini par la modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous produit de l'action humaine à 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 à travers des ressources agricoles, en eau et autre 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,2004)

**7- Contamination des eaux souterraines:**

Les eaux souterraines sont soumises, de plus en plus intensivement, aux rejets volontaires d'effluents polluants, eaux usées ou eau de ruissellement pluvial en milieu urbanisé ou industriel. Les sources de contaminations des eaux souterraines sont multiples et sont liées à de nombreuses activités :

**1-**Les rejets urbains résultants de la collecte et du traitement des eaux usées des ménages, des locaux recevant du public, des commerces, ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines, les dysfonctionnements de la collecte des eaux usées urbaines (mauvais branchements des particuliers, fuites et saturations des réseaux).

**2-**Les rejets agricoles résultants de la percolation des eaux de pluie dans les sols, de l'épandage de produits chimiques sur les sols (engrais, pesticides...).

**3-**Les rejets industriels dans le milieu naturel sans traitement : L'intensité de la contamination des eaux souterraines dépend de plusieurs paramètres notamment la nature des milieux traversés qui conditionne la vitesse d'infiltration.

**Introduction:**

Le climat est l'ensemble des conditions météorologiques qui caractérise l'atmosphère ou un lieu donné. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer.

- ✦ Les facteurs énergétiques, constitués par la lumière et les températures.
- ✦ Les facteurs hydrologiques (précipitation et hygrométrie). (Ramade , 1994)

**1- Situation géographique:**

La ville de Touggourt est située où Sud-est de l'Algérie entre les latitudes ( $32^{\circ}43'$  Nord et  $4^{\circ}32'$  Est) à 160 km au Nord-est de Ouargla ,175km au Nord de Hassi-Messaoud, 220 km u sud de Biskera et à 90 km au sud-ouest d'El-Oued.

Touggourt est liée administrativement à la wilaya de Ouargla avec laquelle elle est reliée par la route nationale N°3 et sa superficie totale est de  $404 \text{ km}^2$ .

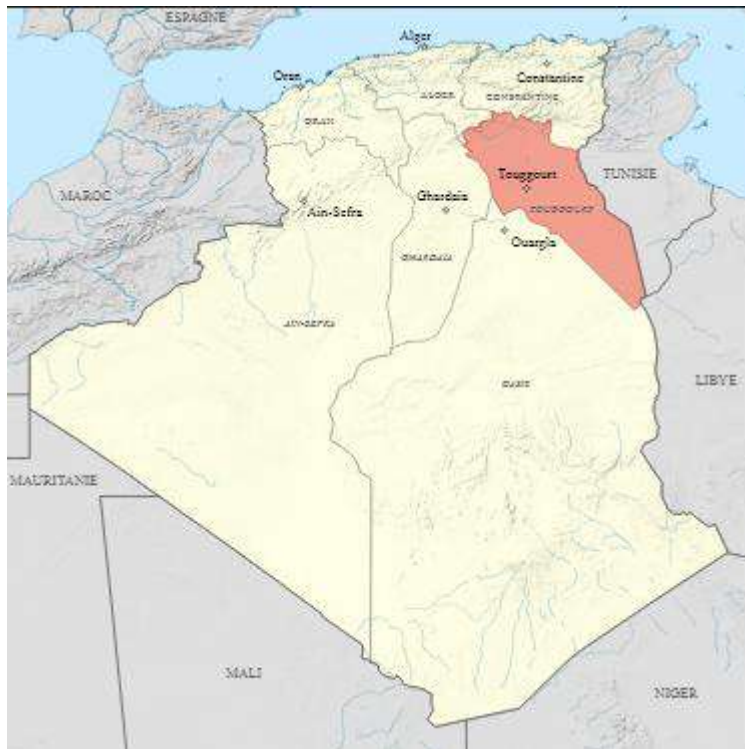


Figure 1: Carte de situation géographique de Touggourt.

**2- Climatologie:**

Le Sahara algérien est caractérisée par des périodes de sécheresse est classifié comme des zones désertiques.

Le climat de Touggourt caractérisé par des températures élevées et des faibles et irrégulières précipitations et par une faible humidité de l'aire et par des vents de sable forte.

Pour bien caractériser le climat, nous avons fait une synthèse des données météorologiques de 10 ans (2008-2017).

**Tableau 2: Données climatiques de la région Touggourt (2008-2017).**

| <i>Paramètre<br/>Climatique</i> | <b>T M</b><br>(°C) | <b>T m</b><br>(°C) | <b>T moy</b><br>(°C) | <b>P</b><br>(mm) | <b>H (%)</b> | <b>V</b><br>(m/s) | <b>E</b><br>(mm) | <b>I</b><br>(h/mois) |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------|--------------|-------------------|------------------|----------------------|
| <b>Septembre</b>                | 36                 | 23                 | 29                   | 6,02             | 43,9         | 2,9               | 222,2            | 276,62               |
| <b>Octobre</b>                  | 31                 | 17                 | 24                   | 3,93             | 49,16        | 2,5               | 171,3            | 274,32               |
| <b>Novembre</b>                 | 23                 | 10                 | 16                   | 6,38             | 57,21        | 2,6               | 130,7            | 251,09               |
| <b>Décembre</b>                 | 19                 | 6                  | 12                   | 3,46             | 60,78        | 2,2               | 81,8             | 236,97               |
| <b>Janvier</b>                  | 18                 | 5                  | 11                   | 11,27            | 61,55        | 2,8               | 101,8            | 250,91               |
| <b>Février</b>                  | 20                 | 6                  | 13                   | 5,01             | 52,56        | 3,2               | 126,0            | 239,77               |
| <b>Mars</b>                     | 24                 | 10                 | 17                   | 6,79             | 47,53        | 3,6               | 163,8            | 268,77               |
| <b>Avril</b>                    | 29                 | 15                 | 22                   | 9,71             | 41,98        | 3,8               | 210,2            | 295,40               |
| <b>Mai</b>                      | 34                 | 19                 | 26                   | 1,80             | 37,26        | 3,8               | 245,2            | 328,01               |
| <b>Juin</b>                     | 38                 | 24                 | 31                   | 0,46             | 33,5         | 3,5               | 302,5            | 311,54               |
| <b>Juillet</b>                  | 42                 | 27                 | 35                   | 0,05             | 30,1         | 3,0               | 347,7            | 363,64               |
| <b>Aout</b>                     | 41                 | 26                 | 34                   | 6,02             | 32,95        | 2,9               | 309,8            | 345,22               |
| <b>La somme</b>                 | 356                | 188                | 270                  | 60,90            | 548,48       | 36,7              | 2413             | 3442,26              |
| <b>Mayenne</b>                  | 29,67              | 16                 | 23                   | 5,08             | 45,71        | 3,1               | 201,1            | 286,86               |

O.N.M. Station Touggourt (2018)

**TM:** Moyenne mensuelle des températures maximales, exprimée en degrés Celsius

**Tm:** moyenne mensuelle des températures minimales, exprimée en degrés Celsius.

**Tmoy:** Températures moyenne annuelle, exprimée en degrés Celsius.

**P:** Précipitation mensuelle en millimètre.



**H** : Moyenne mensuelle d'humidité relative exprimée en pourcentage.

**V**: Moyenne mensuelle de la vitesse du vent en mètre par seconde.

**E**: Évaporation mensuelle en millimètre.

**I**:insolation mensuelle en heure.

## **2-1 Etudes des paramètres climatiques:**

### **2-1-1 Température :**

La température est cependant l'une des grandeurs physique liée à la notion immédiate de chaude et froid et les plus difficiles à définir et mesure. Elle est reconnue de puis la fin du 19<sup>e</sup> siècle, la température représente l'énergie des particules élémentaires du milieu considéré atomes ou molécules.(Sommerai Joël 2018)

L'unité internationale de température est le (K), et le degré Celsius (°C) est une autre unité très rependue en Europe. La température dans la région de Touggourt est très élevée dans l'ensemble la moyenne annuelle et de **22,54 °C**, avec une **TMax=42,20°C** en Juillet et une **Tmin =4,88°C** en Janvier.

### **2-1-2 Précipitation :**

Apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (bruine ou pluie ou averse) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique.

Quelle que soit forme de la précipitation on généralement exprime la quantité d'eau mesurée tombée durant un certain de tempe en millimétrés (**mm**).

Les précipitations dans la région Touggourt très faible et irrégulière et la région est sèche. Les précipitations au mois de juillet sont les plus faibles de l'ordre **0,05 mm** et les maximales sont en janvier avec **11,27 mm**.

### **2-1-3 Humidité relative :**

L'humidité est une quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace.

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression.

La moyenne annuelle est de l'ordre de **45.71%**. Juillet la valeur **30.1%** est le

mois le plus sec et Janvier est le mois le plus humide la valeur **61.55 %**.

#### **2-1-4 Vitesse de vente:**

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements des l'air produite à partir de la différence de la pression entre deux masses d'air.

Il se déplace des hautes pressions ver les basses pressions (dépression).

Les vents sont fréquents sur toute l'année pour la période (2008-2017), avec une moyenne annuelle de **3.05 m/s**, Le maximum de vitesse du vent annuelle est un mois de mai la valeur de **3.76 m/s** et le minimum en mois décembre **2.17 m/s**.

#### **2-1-5 Evaporation:**

L'évaporation est un processus physique qui consiste en un passage lent et progressif d'un état liquide à un état gazeux, après avoir acquis suffisamment d'énergie pour surmonter la tension superficielle. Contrairement à l'ébullition, où l'évaporation sr produit à n'import quelle température.

Dans la Touggourt l'évaporation est très importante.La moyenne annuelle de l'ordre de **201.08 mm** la maximum valeur le mois juillet avec **347.71mm** et le minimum le mois décembre avec **81.77 mm**.

#### **2-1-6 Insolation :**

L'insolation est la durée d'apparition du soleil .Elle varie en fonction de l'altitude qui détermine la longueur des jours et le degré d'obliquité des rayons solaires.

Le maximum est atteint au mois de juillet avec une durée de **363.64 heures** et le minimum au mois de décembre avec une durée de **236.97 heures**.

#### **3-Ressources en eaux :**

Dans la vallée Touggourt l'eau est le facteur limitant le développent économiques particulier l'activité agricole.et ce qui exige une maîtrise des problèmes de l'eau.

### **3-1- Eaux de surface :**

#### **3-1- 1 Les lacs :**

Ce que les gens des régions nomment communément «Bhours», c'est tout simplement une étendue d'eau dont l'origine est une source naturelle, provenant de la nappe phréatique souterraine, les Bhours existant durant toute l'année, dans la région de l'Oued Righ, on en compte trois : un dans l'oasis de Témacine, un seconde à Mégarine et un dernier à Sidi Amrane. (BOUTALBE A ,2010)

#### **3-1- 2 Canal de l'oued Righ :**

Le canal de l'Oued Righ a été creusé en 1925 avec des méthodes traditionnelles et manuelle sur une longueur de 150 km à partir d'El Goug jusqu'au chott Merouane (exutoire naturel), une largeur de 10 m, une profondeur de 4 m et une pente de 1 ‰. les 2/3 Sud du canal ont été creusés, tandis que 1/3 Nord est d'origine naturel (Oued Khrouf).

Creusé ce canal pour le but de faire drainer les eaux en excès d'irrigation, et l'évacuation des eaux usées. donc le canal joue le rôle de collecteur principales de ces eaux qu'il conduit jusqu'à l'Oued Khrouf puis chott Merouane . (Wikipédia)

### **3-2 Eaux de souterraines:**

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de Ressources non renouvelables .

- Nappe phréatique(Npp).
- Continentale Intercalaire(CI).
- Complexe Terminal(CT)

#### **3-2-1 Nappe phréatique(Npp):**

Cet aquifère est constitué par des sables plus ou moins fins et Argile gypseuse. Son substratum est formé d'argile formant en même temps le toit de la première nappe du (CT). Son épaisseur moyenne est de 7 à 60 m. elle est caractérisée par :

- des eaux de fortes salinités, les analyses des eaux de cette nappe montrent qu'elles sont très salées. et excessivement chargée dans les zones mal

drainées

- la conductivité électrique est de l'ordre de 10 à 36 mS/cm dans la majorité des cas.

l'alimentation de cette nappe provient essentiellement de l'excédent d'eau d'irrigation et avec un très faible pourcentage des précipitations, elle est rarement exploitée dans l'Oued Righ .(BERGUIGA N et BEDOUI R.2012)

### **3-2-2 Continentale Intercalaire (CI):**

C'est un aquifère de 1500m et plus de profondeur; composé de sables gréseux ou argileux qui s'étend sur plus de 600 000 Km<sup>2</sup>, son épaisseur peut atteindre 1000 m au Nord Ouest du Sahara. Il se situe entre 700 et 2000 m de profondeur. De point de vue lithologique, le continental intercalaire est formé par une succession de couches de sables, de grès, de grès argileux et d'argile.

La qualité de l'eau du Continental Intercalaire est bonne (la minéralisation totale est généralement < 3,5 g/l).

L'eau d'Albien est relativement peu minéralisée de conductivité électrique de 3 mmhos/cm, mais dont la température est supérieure à 50 °C quand elle jaillit, ce qui pose des problèmes de refroidissement préalable à l'irrigation. Cette eau provoque des dépôts abondant de carbonate de calcium qui rendent sa distribution délicate. (SAYAH LEMBAREK M 2008)

### **3-2-3 Complexe Terminal(CT):**

Le Complexe Terminal content plus d'une nappe (Mio-pliocène, sénonien carbonates et l'Eocène) d'extension considérable de 350 000 Km<sup>2</sup>, une puissance moyenne de 50 à 100 m et une profondeur varient entre 200 à 500 m. Il est Composé de trois aquifères principaux, on distingue de haut en bas la nappe des sables, la nappe des sables et grès et la nappe des calcaires.

On distingue trois aquifères principaux :

- **La première nappe** : dans les sables et argiles du pliocène, qui est en fait un réseau de petites nappes en communication.
- **La deuxième nappe** : dans les sables grossiers à graviers du Miocène supérieurs.

- **La troisième nappe** : dans les calcaires fissurés et karstiques de l'Eocène inférieur.

Historiquement, ces trois nappes étaient artésiennes sur l'ensemble de la région de l'Oued Righ; cette région est caractérisée par la présence de la nappe sénonien carbonaté et le Turonien; mais l'exploitation croissante de ces nappes a conduit à l'utilisation de pompages visant à assurer des débits réguliers pour l'irrigation. (SAYAH LEMBAREK, M 2008)

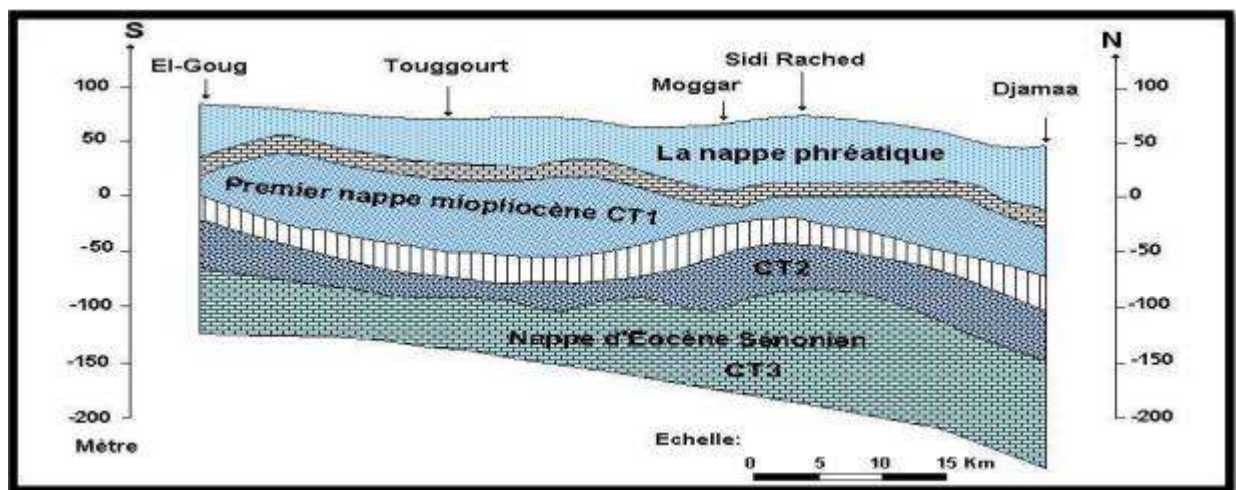


Figure 2 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminale du Sahara Algérien.

### **Conclusion:**

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara, et caractérisée par un climat désertique aride Ceci est à travers une étude climatique de la région.

Les conditions climatiques de la région insuffisante, qui fait l'exploitation excessive des eaux souterraines par la population de la région. C.à.d. la recharge des nappes reste toujours négligeable.

**Introduction:**

Analyse des données est un sous domaine qui se préoccupe de la description de données. Nous cherchons par ces méthodes à donner les liens pouvant exister entre les différentes données à déterminer la disponibilité de données appropriées et la collecte de différentes informations sur l'étude.

**1-Le forage dans la zone :**

La terre de la région El Annet c'est une terre agriculture et le forage dans la région exploité la nappe mio-pliocène elle est constitué de sable fin à moyen, sable argileux et grès, du mio-pliocène. Limitée par des formations semi-perméables.

(Le tableau suivant récapitule les différentes informations sur les forages dans la région EL Annet).

**Tableau 3: Données sur les forages d'El Annet.**

| Forage | nome de forage  | Coordonne |           |    | Année | Nappe    | Ns<br>(m) |
|--------|-----------------|-----------|-----------|----|-------|----------|-----------|
|        |                 | X         | Y         | Z  |       |          |           |
| 1      | El Annet3(42)   | 5°49'16"  | 33°07'00" | 78 | 2016  | Mio-plio | 15,63     |
| 2      | El Annet6(43)   | 5°48'48"  | 33°07'04" | 84 | 2016  | Mio-plio | 17,13     |
| 3      | El Annet7(44)   | 5°49'01"  | 33°07'25" | 86 | 2016  | Mio-plio | 18,80     |
| 4      | El Annet8(45)   | 5°49'22"  | 33°07'34" | 89 | 2016  | Mio-plio | 18,50     |
| 5      | El Annet5(47)   | 5°48'28"  | 33°06'54" | 96 | 2016  | Mio-plio | 17,50     |
| 6      | El Annet(58)    | 5°49'19"  | 33°08'18" | 86 | 2017  | Mio-plio | 17,50     |
| 7      | El Annet17 (62) | 5°48'18"  | 33°07'50" | 93 | 2016  | Mio-plio | 20,70     |
| 8      | El Annet36 (69) | 5°48'09"  | 33°05'12" | 90 | 2015  | Mio-plio | 18,60     |
| 9      | El Annet21 (74) | 5°49'42"  | 33°06'47" | 88 | 2017  | Mio-plio | 18,00     |
| 10     | El Annet14 (75) | 5°49'46"  | 33°07'48" | 87 | 2016  | Mio-plio | 20,00     |

Source: ANRH2018

2- La coup lithologique de la zone étude:

La coupe lithologique permet de d'écrire les différent couches et nappes dans la région d'étude.

La Figure4 ce ci après représente la coupe lithologique de la région d'étude.

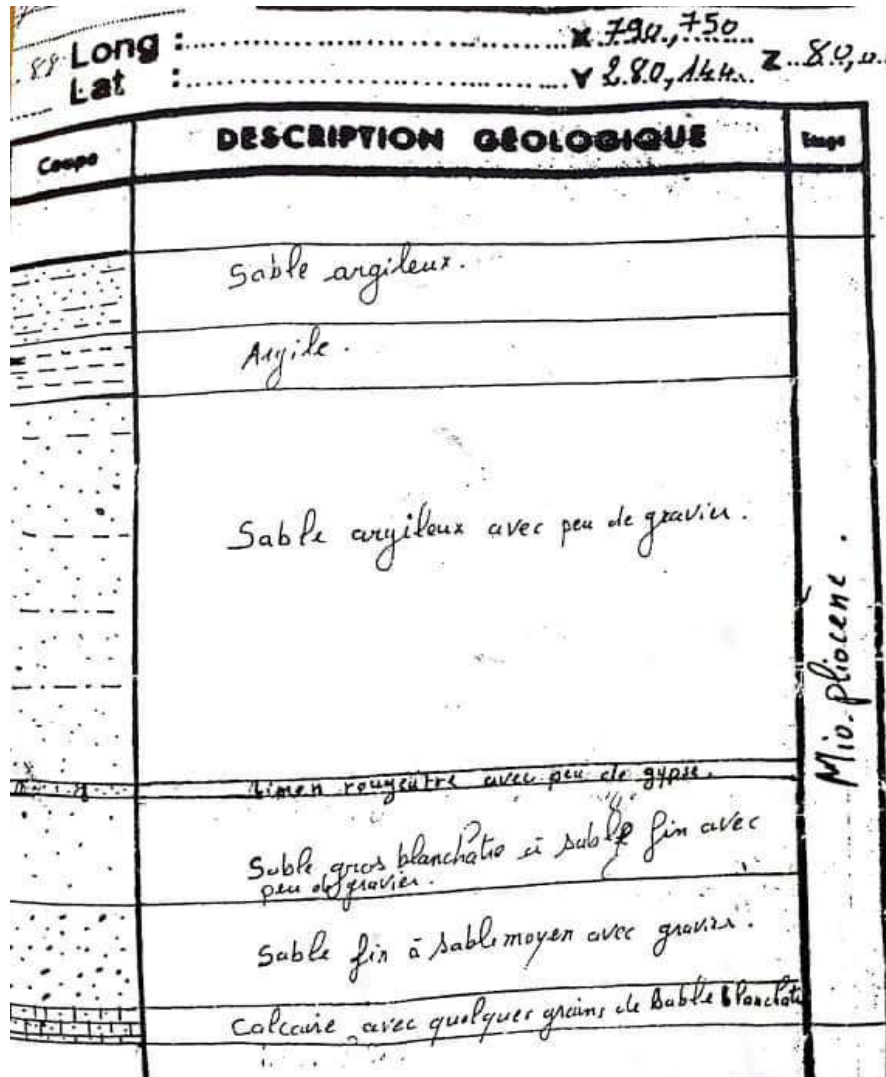


Figure3 : La coupe lithologique d'un forage de la région El Annet (ANRH Tougg).

3- Méthode DRASTIC:

Méthode DARASTIC l'estimation 7 paramètres à pour chacun paramètre spécial poids.

Tableau 4: Les paramètres méthode DRASTIC. (Aller et al 1987)(Engel et al 1996)

|          | Paramètres                           | Propriété   | poids |
|----------|--------------------------------------|---|-------|
| <b>D</b> | Profondeur de la surface de la nappe | Profondeur de la l'aquifère est facteur important dans l'étude de la vulnérabilité, car toute atténuation du polluant s'opère en relation avec la profondeur.<br>Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met beaucoup temps pour atteindre la surface piézométrique.                        | 5     |
| <b>R</b> | Recharge nette                       | définit la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée. et c'est facteur important de la vulnérabilité. Généralement plus la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.   | 4     |
| <b>A</b> | Nature lithologique de l'aquifère    | Le facteur milieu aquifère met en relation la capacité des matériaux aquifères à stocker et à transporter les polluants dans les souterraines pendant l'infiltration dans les couches. caractérisé par la granulométrie des terrains saturés, plus la granulométrie est fine, plus le piégeage est grand. | 3     |
| <b>S</b> | Type de sol                          | Le sol est une propriété hydraulique qui contrôle la recharge lors du processus d'infiltration des eaux.<br>Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est important, et la protection des eaux souterraines est grande.  | 2     |
| <b>T</b> | Topographique (pente du terrain)     | La topographie influence le développement du sol qui a un effet sur l'atténuation des contaminants.<br>Plus la pente de la terre est grande, plus le ruissellement d'eau est grand et la pollution des eaux souterraines est très faible.   | 1     |
| <b>I</b> | Impacte de la zone non saturée       | les zones d'infiltration préférentielles représentation le facteur impact.<br>Son effet est déterminé à partir de la texture des terrains qui la constituent (gravier, sable, grossier...)  | 5     |
| <b>C</b> | Conductivité (perméabilité)          | Le transport et le destin des polluants dans le système des eaux souterraines dépendent des possibilités du système de transfert de masses. la distribution spatiales de conductivité hydraulique est un paramètre clé de l'estimation du temps de transport du polluant                                  | 3     |



#### 4- Classe et note des paramètres méthode DRASTIC

##### 4-1-Profondeur de la surface de la nappe (D):

Le paramètre profondeur du niveau d'eau présent une pondération  $D_p$  de 5.dans la méthode DRASTIC donne une note à chaque profondeur (niveau statique d'eau).

Tableau 5:Classification et notation de la profondeur de la nappe. (Lallemand Barrés 1994).

| Valeur en m | Notation |
|-------------|----------|
| 0à2         | 10       |
| 2à4         | 9        |
| 4à6         | 8        |
| 6à8         | 7        |
| 8à11        | 6        |
| 11à14       | 5        |
| 14à18       | 4        |
| 18à25       | 3        |
| 25à33       | 2        |
| >à 30       | 1        |

##### 4-2 Recharge nette (R):

Le paramètre Recharge présent une pondération  $R_p$  de 1.dans la méthode DRASTIC donne une note pour la Recharge.

Tableau 6:Classification et notation de la Recharge nette. (Lallemand Barrés 1994).

| Valeur en cm | Notation |
|--------------|----------|
| 0à5          | 1        |
| 5à10         | 3        |
| 10à15        | 6        |
| 15à25        | 8        |
| >à 25        | 9        |

##### 4-3 Nature lithologique de l'aquifère (A):

Type de l'aquifère présent une pondération  $A_p$  de 3.dans la méthode DRASTIC donne une note à chaque type de sol.

Tableau 7: Classification et notation de la lithologie de l'aquifère. (Lallemand Barrés 1994).

| Classe                      | Notation |
|-----------------------------|----------|
| Calcaire karstique          | 10       |
| Basalte                     | 9        |
| Sable et gravier            | 8        |
| Calcaire massif             | 6        |
| Grés massif                 | 6        |
| Shales en séquence          | 6        |
| Métamorphique altérée, grés | 4        |
| Métamorphique               | 3        |
| Shale massif                | 2        |

**4-4 Type de sol (S):**

Type de sol présent une pondération  $S_p$  de 2. dans la méthode DRASTIC donne une note différent type de sol.

Tableau 8: Classification et notation du type de sol. (Lallemand Barrés 1994).

| Classe                           | Notation |
|----------------------------------|----------|
| peu épais au absent              | 10       |
| gravier                          | 10       |
| sable                            | 9        |
| argile agrégats                  | 7        |
| limon sableur                    | 6        |
| limon                            | 5        |
| limon silt eux                   | 4        |
| limon argileux                   | 3        |
| argile non agrégé et non fissuré | 1        |

**4-5 Topographique (pente du terrain) (T):**

Topographie présent une pondération  $T_p$  de 1. dans la méthode DRASTIC donne une note topographie de la terre.

Tableau 9: Classification et notation de la topographie. (Lallemand Barrés 1994).

| Pente en % | Notation |
|------------|----------|
| 0à2        | 10       |
| 2à6        | 9        |
| 6à8        | 8        |
| 8à10       | 7        |
| 10à12      | 5        |
| 12à18      | 3        |
| >à18       | 1        |

**4-6 Impactes de la zone non saturée (I):**

Lithologie zone saturée présent une pondération  $I_p$  de 5.dans la méthode DRASTIC donne une note à chaque type de sol de la zone saturée.

**Tableau 10 : Classification et notation de l'impacte de la zone non saturée. (Lallemand Barrés 1994).**

| Classe                               | Notation |
|--------------------------------------|----------|
| Calcaire karstique                   | 10       |
| Basalte                              | 9        |
| Sable et gravier                     | 8        |
| Sable et gravier avec silt et argile | 6        |
| Calcaire lité grés shale             | 6        |
| Grés                                 | 6        |
| Calcaire                             | 6        |
| Shale                                | 3        |
| Lite argile                          | 1        |

**4-7 Conductivité (perméabilité de sol) (C) (Lallemand-Barrés.1994):**

La conductivité hydraulique présente une pondération  $C_p$  de 3.dans la méthode DRASTIC donne une note à chaque perméabilité de l'aquifère.

**Tableau 11 : Classification et notation de perméabilité. (Lallemand Barrés 1994).**

| Valeur en m/s                                 | Notation |
|---|----------|
| $>9.4 \times 10^{-4}$                         | 10       |
| $4.9 \times 10^{-4}$ à $9.4 \times 10^{-4}$   | 8        |
| $32.9 \times 10^{-5}$ à $4.7 \times 10^{-4}$  | 6        |
| $14.7 \times 10^{-5}$ à $32.9 \times 10^{-5}$ | 4        |
| $4.7 \times 10^{-5}$ à $14.7 \times 10^{-5}$  | 2        |
| $4.7 \times 10^{-7}$ à $4.7 \times 10^{-5}$   | 1        |

**5- Méthodologies d'application de la méthode DRASTIC:**

DRASTIC et notée ID est déterminée : elle décrit le degré de vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique. L'indice de vulnérabilité DRASTIC est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants

:

$$ID = D_c \times D_p + R_c \times R_p + A_c \times A_p + S_c \times S_p + T_c \times T_p + I_c \times I_p + C_c \times C_p$$

Où:

ID: l'indice DRASTIC.

$D_C$ : note de profondeur.

$D_p$ : poids de la profondeur.

$R_c$ : note de Recharge.

$R_p$ : Poids de Recharge.

$A_c$ : note de Lithologie.

$A_p$ : poids de Lithologie.

$S_c$ : note de Sols.

$S_p$ : poids de Sols.

$T_c$ : note de Topographie.

$T_p$ : poids de Topographie.

$I_c$ : note de l'impacte (zone non saturée).

$I_p$ : poids de l'impacte (zone non saturée).

$C_c$ : note de la Perméabilité.

$C_p$ : poids de la Perméabilité.

Une valeur numérique appelée poids paramétrique, comprise entre 1 et 5 (Tableau 3), est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence. Chaque paramètre est classé en classes associées à des cotes variant de 1 à 10.

La mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère, par méthode DRASTIC elles varient de 23 à 226 selon (ALLER et al. (1987)).

### **6- Détermination du degré de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :**

Le degré de vulnérabilité de la méthode DRASTIC classification pour 4 indices selon intervalle.

**Tableau12: Degré de vulnérabilité de la méthode DRASTIC(Engle et al 1996).**

| Degré de vulnérabilité | Intervalle de la vulnérabilité |
|------------------------|--------------------------------|
| Faible                 | <à101                          |
| Moyen                  | 101 à 140                      |
| Fort (élevé)           | 140 à 200                      |
| Très fort (très élevé) | >à 200                         |

**7- Méthode SI:**

Méthode SI l'estimation 5 paramètres à pour chacun paramètre spécial poids.

Tableau 13 : Les paramètres méthode SI.

|           | Paramètres                           | Propriété   | Poids |
|-----------|--------------------------------------|---|-------|
| <b>D</b>  | Profondeur de la surface de la nappe | Profondeur de la l'aquifère est facteur important dans l'étude de la vulnérabilité, car toute atténuation du polluant s'opère en relation avec la profondeur.<br>Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met beaucoup pour atteindre la surface piézométrique.                              | 0,186 |
| <b>R</b>  | Recharge nette                       | définit la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.et c'est facteur important de la vulnérabilité. Généralement plus la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.  | 0,212 |
| <b>A</b>  | Nature lithologique de l'aquifère    | Le facteur milieu aquifère met en relation la capacité des matériaux aquifères à stocker et à transporter les polluants dans les souterraines pendant l'infiltration dans les couches. caractérisé par la granulométrie des terrains saturés, plus la granulométrie est fine, plus le piégeage est grand. | 0,259 |
| <b>T</b>  | Topographique (pente du terrain)     | La topographie influence le développement du sol qui a un effet sur l'atténuation des contaminants.<br>Plus la pente de la terre est grande, plus le ruissellement d'eau est grand et la pollution des eaux souterraines est très faible.   | 0.212 |
| <b>Os</b> | L'occupation des sols                | La couverture biophysique de la surface des terres émergées, s'est basée sur la vectorisation des différentes entités (roche ,sol nu ,habitation et zone humide)  | 0,222 |

**8- Classe et note de les paramètres méthode SI:**

Classification et notation de les paramètres de méthode SI eux mêmes 04 paramètres DRASTIC il s'agit de profondeur d'eau  $D_c$  , Recharge nette  $R_c$  ,Nature lithologique de l'aquifère  $A_c$  et topographie  $T_c$ . ajoute à occupation des sol.

**8-1 L'occupation des sols:**

L'occupation de sol présente une pondération  $OS_p$  de 0.222.dans la méthode SI donne une note à chaque les propriétés du sol de la zone.

**Tableau 14:Classification et valeur du facteur d'occupation de sol.**

| Occupation des sols selon la classification CORINE Land Cover | Valeur du facteur d'occupation des sols LU (Land use factor) |
|---|--|
| Décharge industrielle, décharge d'ordures, mines              | 100  |
| Périmètres irrigués, rizières                                 | 90   |
| Carrière, chantier naval                                      | 80   |
| Zones artificielles couvertes, zones vertes                   | 75   |
| Cultures permanentes (vignes, vergers, oliviers, etc.)        | 70   |
| Zones urbaines discontinues                                   | 70   |
| Pâturages et zones agro-forestières                           | 50   |
| Milieux aquatiques (marais, salines, etc.)                    | 50   |
| Forêts et zones semi-naturelles                               | 0  |

**9- Méthodologies d'application de la méthode SI:**

L'indice de vulnérabilité (SI) est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants :

$$I_{SI} = D_c \times D_p + R_c \times R_p + A_c \times A_p + T_c \times T_p + OS_c \times OS_p$$

Où:

$I_{SI}$ : l'indice de SI.

$D_c$ : note de profondeur.

$D_p$ : poids de la profondeur.

$R_c$ : note de Recharge.

$R_p$ : Poids de Recharge.

$A_c$ : note de Lithologie.

$A_p$ : poids de Lithologie.

$T_c$ : note de Topographie.

$T_p$ : poids de Topographie.

$I_c$ : note de L'occupation des sols.

$I_p$ : poids de L'occupation des sols.

Quant aux poids attribués aux paramètres SI, ils varient de 0 à 1 selon l'importance du paramètre dans la vulnérabilité (**Tableau 12**) et les valeurs des cotes attribuées aux classes des différents paramètres varient de 0 à 100, allant du moins vulnérable au plus vulnérable.

### ***10-Détermination la Critères d'évaluation de la vulnérabilité de la méthode SI:***

Le degré de vulnérabilité de la méthode SI classification pour 4 indices selon intervalle.

**Tableau 15 : Degré de vulnérabilité de la méthode SI (RIBIRO 2000).**

| Critères de vulnérabilité | Intervalle de la vulnérabilité |
|---------------------------|--------------------------------|
| Faible                    | <à45                           |
| Moyen                     | 45 à 64                        |
| Fort (élevé)              | 65 à 84                        |
| Très fort (très élevé)    | 85 à 100                       |

### ***Conclusion:***

Dans ce chapitre nous avons présenté deux méthode de la détermination de les vulnérabilités avec la présentation de quelque paramètre et les formules de calcule. Ce ci va paramètre dépasse des résultats et leur discussion choisies que nous allons traiter de le chapitre qui suit.

### 1- Situation géographique de la zone d'étude:

La région **El Annet** est un périmètre agricole Située **23Km** à l'ouest de la ville de Touggourt contenté dans une nature désertique traversé par la route (Touggourt - Messaad-djelfa). La surface de la zone d'étude est **804,3789ha**.



Figure 4: Photos de la région El Annet (Google Earth).



**2- Application de méthode DRASTIC:**

**2-1 Profondeur de la surface de la nappe(D):**

La profondeur du niveau d'eau dans la nappe est un paramètre important, il détermine l'épaisseur des matériaux de la zone d'aération à travers laquelle un contaminant percole avant d'atteindre le niveau piézométrique. Donc la profondeur de la nappe Mio-pliocène: est un niveau statique à chaque forage.

**2-1-1 Niveau statique de forge:**

La carte suivant représente les plans piézomètre de la nappe.

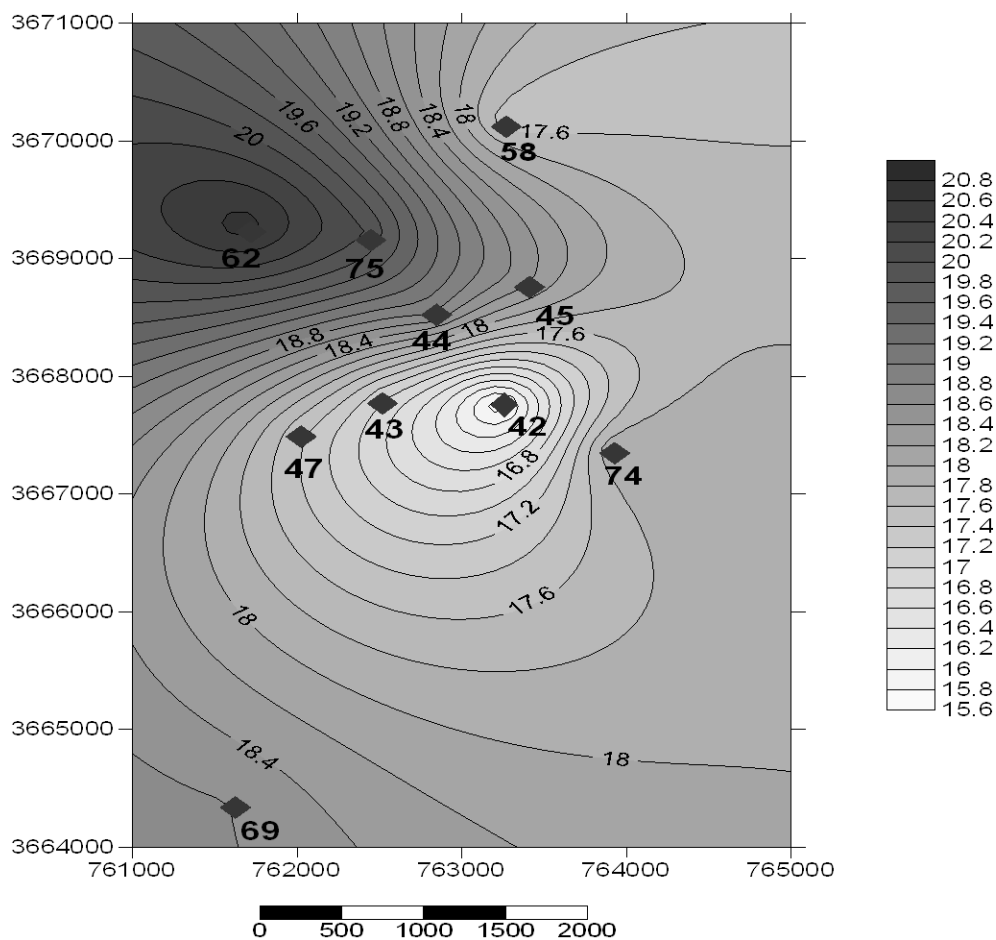


Figure 5 : Niveau statistique de forage.

Le niveau statique dans la région El Annet varie entre 15,63m et 20m où la valeur faible est dans le forage 42 et la valeur maximale dans le forage 75.

La carte montre aussi le sens d'écoulement du courant d'eau.

**2-2 Recharge nette(R):**

La recharge de la nappe provient principalement de l'infiltration directe des eaux de précipitation qui peuvent intervenir à réalimenter directement les nappes .

**2-3 Nature lithologique de l'aquifère(A):**

à travers lithologique de l'aquifère Peut déterminer la composition de la structure géologique et hydrogéologie de la région, la nappe du Mio-pliocène est constituée par des sable.

**2-4 Type de sol(S):**

Ce facteur joue un rôle important quant à la détermination des zones polluées. Où Le sol a un impact sur la frange d'eau qui s'infiltré à travers le sol pour atteindre la nappe d'eau souterraine

Le type de sol couverture: est un type sableux

**2-5 Topographique (pente du terrain)(T):**

La pente de terre à contrôler l'infiltration de contaminants

La pente a été calculée selon la relation suivante:

$I=Z/D$  Où I: la pente de terrain. Z: la hauteur de forage (mètre). D: la distance

**Tableau 16 : Calcule la pente de terrain(T).**

| Forage | Z  | Distance(m) | La pent % |
|--------|----|-------------|-----------|
| 1      | 6  | 737         | 0,8       |
| 2      | 2  | 729         | 0,2       |
| 3      | 3  | 612         | 0,4       |
| 4      | 7  | 1873        | 0,4       |
| 5      | 10 | 2920        | 0,3       |
| 6      | 7  | 1840        | 0,4       |
| 7      | 3  | 4860        | 0,06      |
| 8      | 2  | 3800        | 0,05      |
| 9      | 1  | 2370        | 0,04      |
| 10     | 9  | 1660        | 0,5       |

**2-6 Impacte de la zone non saturée(I):**

L'impact de la zone non saturée (zone d'aération) est considéré comme étant un paramètre très important car la nature et l'épaisseur de la partie comprise entre la surface du sol et l'aquifère.

Où impact la zone non saturée dans la région El Annet : Sable et argile

**2-7 Conductivité (Perméabilité) (C):**

La perméabilité de la nappe Mio-pliocène à la région El Annet : est un sable de valeur  $2 \times 10^{-4}$  m/s

Donc on appliquant la méthode DRASTIC:

Tableau 17 : Paramètres DRASTIC à chaque forages.

| Paramètres | $D_c(m)$ | $R_c$ | $A_c$ | $S_c$   | $T_c\%$ | $I_c$           | $C_c(m/s)$         |
|------------|----------|-------|-------|---------|---------|-----------------|--------------------|
| 1          | 15,63    | 5     | Sable | Sableux | 0,8     | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 2          | 17,13    | 5     | Sable | Sableux | 0,2     | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 3          | 18,80    | 5     | Sable | Sableux | 0,4     | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 4          | 18,50    | 5     | sable | Sableux | 0,4     | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 5          | 17,50    | 5     | sable | Sableux | 0,3     | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 6          | 17,50    | 5     | sable | Sableux | 0,4     | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 7          | 20,70    | 5     | sable | Sableux | 0,06    | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 8          | 18,60    | 5     | sable | Sableux | 0,05    | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 9          | 18,00    | 5     | sable | Sableux | 0,04    | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |
| 10         | 20,00    | 5     | sable | Sableux | 0,5     | Sable et argile | $2 \times 10^{-4}$ |

chaque paramètre il a une notation.

Tableau 18: Notation à chaque forage selon paramètre DRASTIC.

| Paramètres | D <sub>p</sub> | R <sub>p</sub> | A | S | T  | I | C |
|------------|----------------|----------------|---|---|----|---|---|
| 1          | 4              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 2          | 4              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 3          | 3              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 4          | 3              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 5          | 4              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 6          | 4              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 7          | 3              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 8          | 3              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 9          | 3              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |
| 10         | 3              | 1              | 8 | 9 | 10 | 6 | 6 |

### 2-8 Résultats numériques de la méthode DRASTIC :

En fonction de la méthode DRASTIC:

$$ID = D_c \times 5 + R_c \times 4 + A_c \times 3 + S_c \times 2 + T_c \times 1 + I_c \times 5 + C_c \times 3$$

Tableau 19 : Résultat de méthode DRASTIC (Degré de vulnérabilité).

| <b>Forage</b> | <b>Indice ID</b> | <b>Degré de vulnérabilité</b> |
|---------------|------------------|-------------------------------|
| <b>1</b>      | 124              | moyen vulnérabilité           |
| <b>2</b>      | 124              | moyen vulnérabilité           |
| <b>3</b>      | 119              | moyen vulnérabilité           |
| <b>4</b>      | 119              | moyen vulnérabilité           |
| <b>5</b>      | 124              | moyen vulnérabilité           |
| <b>6</b>      | 124              | moyen vulnérabilité           |
| <b>7</b>      | 119              | moyen vulnérabilité           |
| <b>8</b>      | 119              | moyen vulnérabilité           |
| <b>9</b>      | 119              | moyen vulnérabilité           |
| <b>10</b>     | 119              | moyen vulnérabilité           |

D'après tableau du les eaux souterraines de la région d'El Annet sont moyennement vulnérabilité avec petit différence. La déférence de plus en plus remarquable dans la carte qui suit:

2-9 Carte de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC:

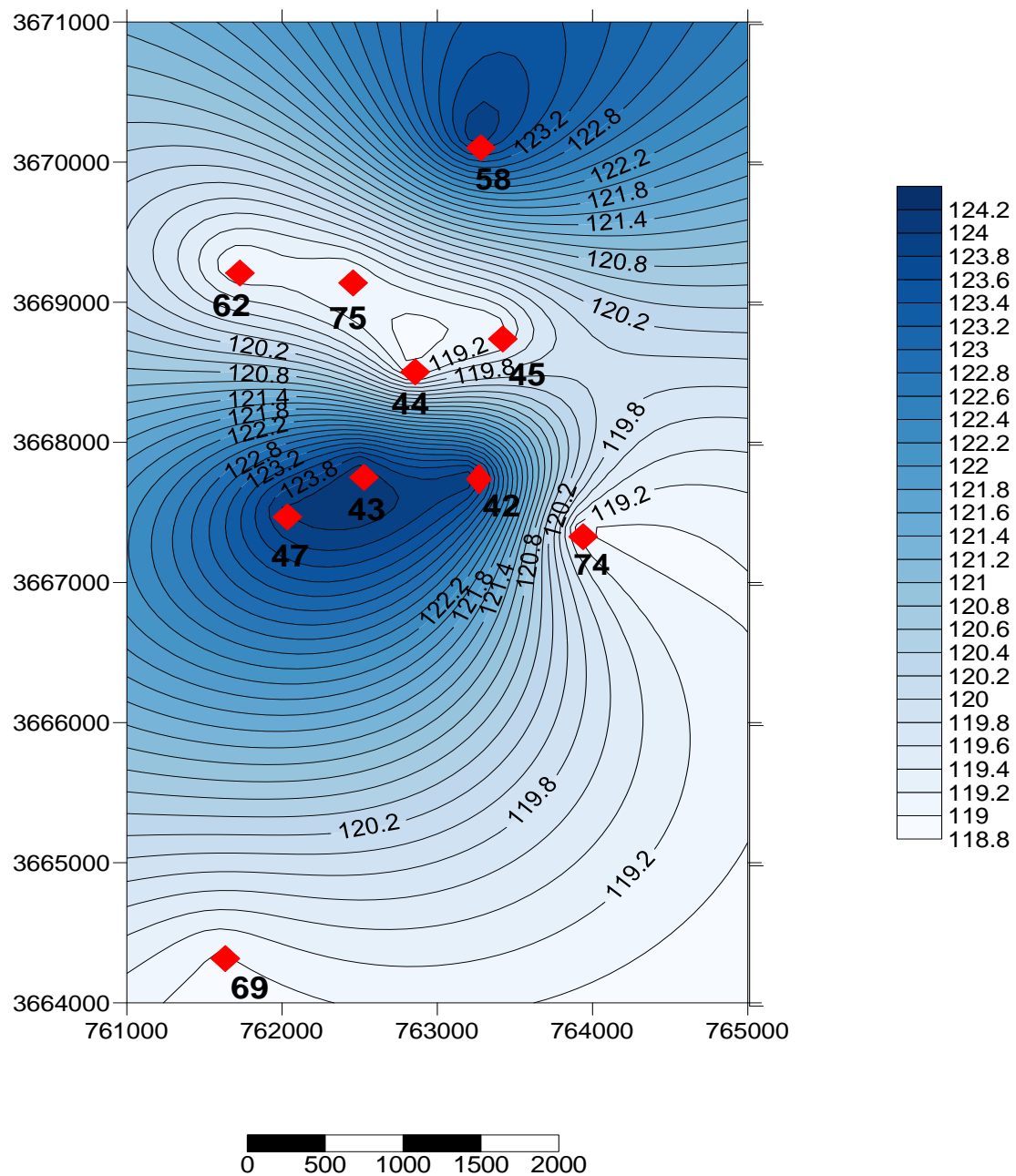


Figure 6: Carte de vulnérabilité par la méthode DRASTIC.

D'après la carte plus nous degré eaux vers l'Ouest et le Nord est plus les eaux souterraines devient plus vulnérabilité ce ci caractérise dans la carte

**3- Application de méthode SI:**

Pour l'application méthode SI, où il est possèdent même 04 paramétrés DRASTIC et c'est : Profondeur de la surface de la nappe(D), Recharge nette(R), Nature lithologique de l'aquifère(A) et Topographique (pente du terrain)(T)avec l'occupation de sol .

Où l'occupation de sol OS<sub>c</sub> à la région El Annet : Périmètres irrigués

Applique la méthode SI:

**Tableau 20: Paramètres SI à chaque forages.**

| Paramètres | D <sub>c</sub> (m) | R <sub>c</sub> | A <sub>c</sub> | T <sub>c</sub> % | OS <sub>c</sub>     |
|------------|--------------------|----------------|----------------|------------------|---------------------|
| 1          | 15,63              | 5              | Sable          | 0,8              | Périmètres irrigués |
| 2          | 17,13              | 5              | Sable          | 0,2              | Périmètres irrigués |
| 3          | 18,80              | 5              | Sable          | 0,4              | Périmètres irrigués |
| 4          | 18,50              | 5              | Sable          | 0,4              | Périmètres irrigués |
| 5          | 17,50              | 5              | Sable          | 0,3              | Périmètres irrigués |
| 6          | 17,50              | 5              | Sable          | 0,4              | Périmètres irrigués |
| 7          | 20,70              | 5              | Sable          | 0,06             | Périmètres irrigués |
| 8          | 18,60              | 5              | Sable          | 0,05             | Périmètres irrigués |
| 9          | 18,00              | 5              | Sable          | 0,04             | Périmètres irrigués |
| 10         | 20,00              | 5              | Sable          | 0,5              | Périmètres irrigués |

Tableau 21: Notation à chaque forage selon paramètre SI.

| Paramètres | D <sub>p</sub> | R <sub>p</sub> | A <sub>p</sub> | T <sub>p</sub> | OS <sub>p</sub> |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1          | 4              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 2          | 4              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 3          | 3              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 4          | 3              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 5          | 4              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 6          | 4              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 7          | 3              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 8          | 3              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 9          | 3              | 1              | 8              | 10             | 90              |
| 10         | 3              | 1              | 8              | 10             | 90              |

**3-1 Résultat numérique de la méthode SI:**

En fonction de la méthode SI:

$$I_{SI} = D_c \times 0.186 + R_c \times 0.212 + A_c \times 0.259 + T_c \times 0.212 + OS_c \times 0.222$$



Tableau 22: Résultat de méthode SI. (degré de vulnérabilité)

| <b>Forage</b> | <b>Indice <math>Is_I</math></b> | <b>Degré de vulnérabilité</b> |
|---------------|---------------------------------|-------------------------------|
| <b>1</b>      | 25,128                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>2</b>      | 25,128                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>3</b>      | 24,942                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>4</b>      | 24,942                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>5</b>      | 25,128                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>6</b>      | 25,128                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>7</b>      | 24,942                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>8</b>      | 24,942                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>9</b>      | 24,942                          | Faible vulnérabilité          |
| <b>10</b>     | 24,942                          | Faible vulnérabilité          |

D'après tableau du les eaux souterraines de la région d'El Annet sont faiblement vulnérabilité avec petit différence. le déférence de plus en plus remarquable dans la carte qui suit:

3-2 Carte de la vulnérabilité par la méthode SI:

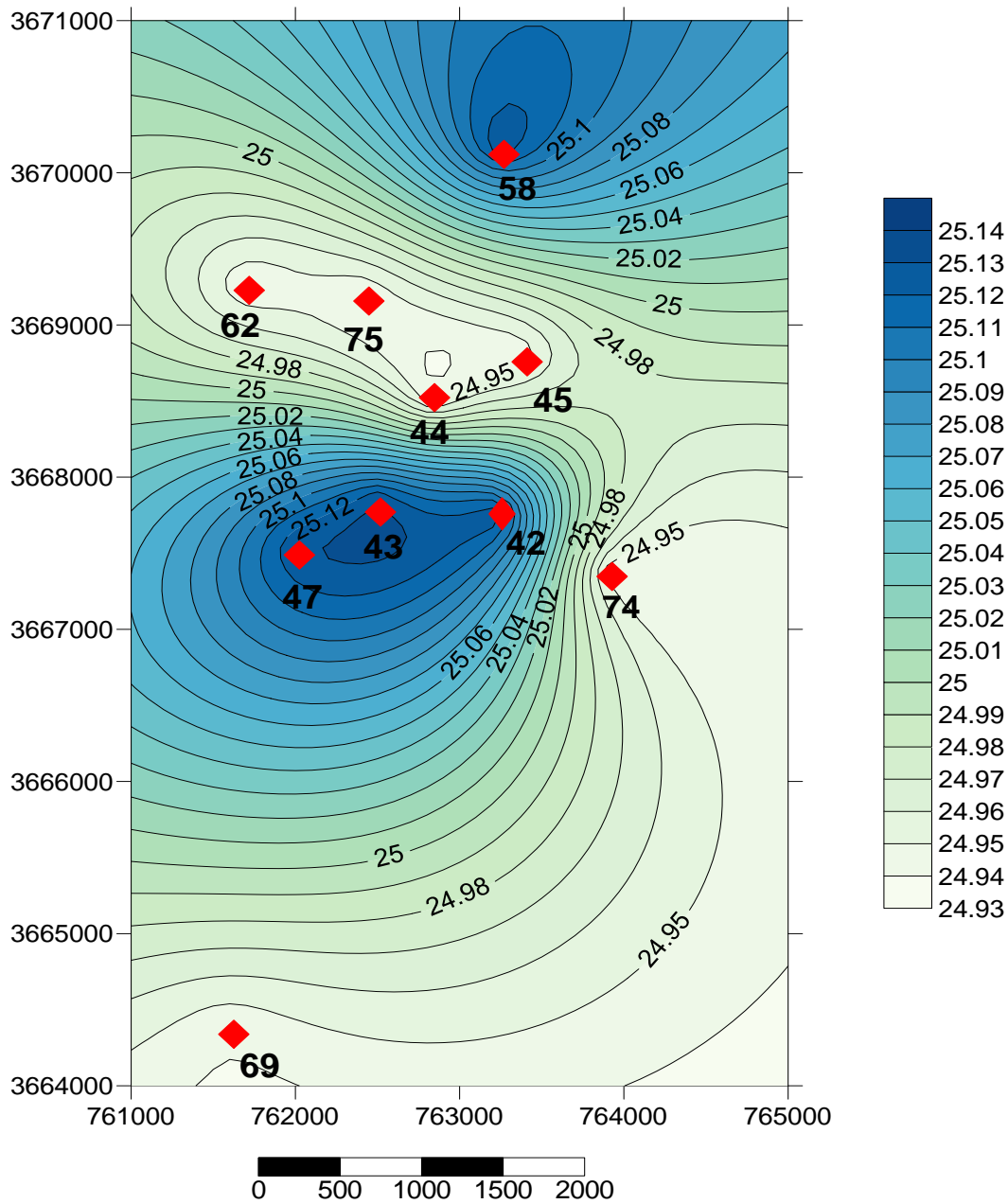


Figure 7: Carte de vulnérabilité par la méthode SI.

D'après la carte plus nous degré eaux vers l'Ouest et le Nord est plus les eaux souterraines devient plus vulnérabilité ce ci caractérise dans la carte.

**5-Discussion:**

L'application des formules des deux méthodes de la vulnérabilité DRASTIC et SI utilisent les données des différents paramètres recensés et analysés de permis de réaliser trois cartes par logiciel surfer ver:

La première carte est la carte piézométrique qui est construite sur la base du NS des forages de la zone d'étude et qui nous permet de connaître le niveau de l'eau dans la nappe mi-paléocène par rapport au sol et le sens de l'écoulement de l'eau dans cette nappe de la zone d'étude qui était vers le Sud-est.

Pour le degré de la vulnérabilité de la nappe étudiée par les deux méthodes DRASTIC et SI les résultats ont montré que cette nappe est pratiquement moyennement vulnérable. Les résultats suivent la méthode DRASTIC de valeur composée entre 119 et 124 (donc entre 101 et 140). Cette variation est relative à un seul facteur qui est la profondeur, car les valeurs pour les autres paramètres étaient identiques.

Dans la carte réalisée les valeurs de 124 sont obtenues au Nord-est et à l'ouest ; et les valeurs minimales 119 sont obtenues au centre de la zone et au sud de la zone Sud-ouest de la zone.

Suivant la méthode SI les résultats obtenus ont montré que les valeurs de degré de vulnérabilité sont entre 24,942 et 25,128 des valeurs qui sont inférieures à 45 et qui correspondent à une faible vulnérabilité.

La carte de vulnérabilité réalisée montre que les valeurs maximales sont au nord-est et à l'ouest et les valeurs minimales sont enregistrées dans la zone d'étude et au Sud-ouest.

Les valeurs de la vulnérabilité suivant SI dépendent aussi uniquement de la profondeur car les autres facteurs sont unifiés.

Il est mentionné que la méthode DRASTIC est une méthode générale et SI est une méthode destinée pour la mesure de la vulnérabilité dans le domaine agricole (tenir compte des données relatives à la zone d'étude d'origine agricole).

En se référant aux données relatives à la zone d'étude nous pouvons admettre que les eaux souterraines de cette zone sont à faible risque de pollution.

## *Conclusion Générale*

La région TOUGGOURT c'est une région désertique qui conduit à l'exploitation la nappe pour répondre aux besoins. Faire une grande demande en eau sont ces ressources toutefois menacés par plusieurs factures: eaux usées surexploitation et l'utilisation intensive des engrais ....

Au cours de cette recherche choisi la région EL Annet et étude leur vulnérabilité à la pollution et cela à travers la carte piézométrique et étude deux méthode de vulnérabilité SI et DRASTIC et carte de vulnérabilité et choisie la meilleur méthode entre les deux méthodes SI et DRASTIC.

De l'étude nous avons atteint :

La carte piézométrique nous permis de connaitre le niveau de l'eau dans la nappe moi-paléocène par rapport du sol et le sens de l'écoulement de l'eau dans cette nappe deus la zone d'étude qui était ver le Sud-est.

Pour le degré de vulnérabilité par méthode DRASTIC (variante entre 101 et 140) et SI (varient entre 24.942 et 25.128) cette variation est relative à un seul facteur qu'est la profondeur, car les valeurs pour les autres paramètres identique et pour la carte de vulnérabilité montre que les valeurs maximal. Sont au nord-est et à l'ouest et les valeurs minimales sont enregistrées dans le centre de la zone d'étude et au Sud-ouest.

A partir des résultats obtenus par l'application de la méthode DRASTIC ET SI à la nappe mio-pliocène de la région El Annet .et fournie (obtenue) une carte de vulnérabilité qui définie la degré de contamination.

La méthode SI est un méthode destinée pour la mesure de la vulnérabilité dan le domaine agricole (tenir susceptible aux donnée relative à la zone d'étude D'origine agricole).

Cartographie de la vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines ,pour la carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles .Elle servira donc comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau .

A la fin ce travail il est recommandé d'essayer de définir la vulnérabilité par d'autres méthodes et réaliser des cartes par d'autre logiciels. Il est bien préconisé aussi de vérifier la vitesse de filtration des pollution et le tempe probable pour la contamination de la nappe étudiée.

## ***Bibliographie***

**1/ALLER L et BENNETT T ., LEHR J H ., PETTY R J m HACKETT G.** DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro geological settings. 1987, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Ada, Oklahoma, USA.

**2/BAKALOWICZ M .,** connaissance et gestion des ressources en eau souterraines dans les région Karstiques. Lyon Agence de l'eau Rhone-Méditerranée-Corse,44p. 1999, Guide technique n°3.

**3/BENSAOULA F .**Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques, mise au point d'outils pour leur protection (Application aux monts de Tlemcen-Ouest Oranais).2006. Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée: Université Tlemcen.

**4/BENSAOULA F ADJIM M et BESALAH M.** l'importance des eaux karstique dans l'approvisionnement en eau de la population: journal n° 6 décembre 2007-57-64pp.

**5/BERGUIGA N ., BEDOUI R.** Contribution à l'étude phytoédaphique des zones humides de l'Oued Righ.2012. thèse Mémoire :Ing.Bio:Uni. Kasdi Merbah Ouargla. PP8-17.

**6/BOUTALBE A .** Contribution à l'étude de l'impact de l'aménagement hydro agricole sur la dégradation de l'environnement hydro-édaphique à Oued Righ.2010.thèse de Mémoire: Ing. Bio: Uni. Kasdi-Merbah Ouargla.76P.

**7/BRGM.** Analyse de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraine autour des sites BASOL du bassin Adour. 2008. rapport final : Garonne.

**8/BRGM.** normalisations des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions.1994. R37928:BP 6009-45060Orléans Gèdes2-France.

**9/CAZAUX M .** Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. 2007. Mémoire de stage : Rapport SMEGREG: 54 p.

**10/CHENG Yu., BAOXIANG Z., YINGYING Y., FANHAI M., CHUNMIAO Z.,** A field demonstration of the entropy-weighted fuzzy DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques* .2012 , Vol.57 (7),1420-1432.

**11/Dörfliger N et al.** Cartographie de la vulnérabilité en vue de la délimitation des périmètres de protection en milieu karstique , Guide méthodologique.2005, Edition BRGM.

**12/Dörfliger N et al.** cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstique en franche canter,rappor.2004. BRGM/RP53576-fr etude réalise dans le cadre des opération de service public du BRGM2003-pspo3fr c09.

**13/Dörfliger N., Zwahlen F et al.** vulnérabilité des captage en milieu karstic-que nouvelle méthode de délimitation des zones de protection-méthode multicritère EPIK -Gan des schweis.vereins des Gas wasser abwasser or gan des schweiz vereins des Gas-und wasserfaches (SVGW) und des verbandes schweizer-abwasser und gewasserschutz-fachleute.1997, (USA)5:295-302.

**14/ENGEL B.A., K.C.S., NAVULUR B.S. COOPER., L. HAHN.** Estimating groundwater vulnerability to non-point source pollution from nitrates and pesticides on a regional scale,Int. Assoc.1196, Hydrol. Sci., 235. 521-526.

**15/EWODO M et al.** Apport des méthodes paramétriques DRASTIC, GOD et SI à l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque dans les aquifères du bassin versant de l'Abiergué, (région de Yaoundé) REV. CAMES.2016, VOL.04 NUM.02. 2016 \* ISSN 2424-7235.

**16/FOSTER.** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of soil and Groundwater to pollutants.1987 , RIVM.TNO Comittee on Hydrological Research.

**17/GOGU R ., DASSARGUES A.** A short review on groundwater vulnerability assessment, Basic statements for use in the framework of the cost 620 action.1998, Workshop 18-20 mai. Université deNeuchâtel.

**18/HAMZ M. H., ADDED A., FRANCES A., RODRIGUEZ R., AJMI M., et Abdeljaoued S.** Évaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe

côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Jebel-Raf Raf (Nord-Est tunisien) selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI .2008 , Revue des sciences de l'eau, 21, (1), 75–86. <https://doi.org/10.7202/017932ar>.

**19/KOLLER E.** traitement des pollutions industrielles. Dunod. Paris.2004, ppp 4-6-7

**20/LALLEMEND BARRES A.** Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions, Etude documentaire préliminaire.1997, R37928. BRGM.

**21/MIMOUN D ., GRAILLOT D .** Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules , Egypte . 2010, des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules. Application au Massif Central (France), Centre SITE, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne 158, cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, Colloque Eau, Déchets et Développement Durable.

**22/MUET F ., VIER E .** Stratégies de protection de ressources karstique utilisées pour l'eau potable, Corse. 2011, Guide pratique Agence de l'eau Rhone-Méditerranée.

**23/MURAT et al.** vulnérabilité à la nappe des aquifres facturés du sud-ouest du Québec: évaluation par les méthode DRASTIC et GOD commission géo .2003 , du Canada recherches en cours 200-D3,14p.

**24/RAMAD F.** Elément d'écologie, écologie fondamentale .Edi science, Paris.1994. 517p.

**25/RAVBAR N et GOLDSHEIDE R.** proposed méthdologie of vulnerability and contamination risk mapping for the protection of karst aquifer in Slovenia.2007. ACTA CARSOLOGICA 36/3.397-411 POSTOJNA 394-411P.

**26/ASSIN et al.** Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du Gharb (Maroc)Cartography of the vulnerability to pollution of groundwater : Application to the Gharb's plain



(Morocco).2007. Volume 20, Numéro 2, 2007, p. 185–199 Tous droits réservés

© Revue des sciences de l'eau.

**27/SAYAH LEMBAREK M** . Etude hydraulique du canal Oued Righ.2008.

Mémoire de Magister : Hydraulique: Université Kasdi Merbah Ouargla. PP35-42.

**28/SCHNEBELEN N., PLATEL J.P., LE NINDRE Y.M., BAUDRY D et al.**

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5, Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Opération sectorielle. 2002, Rapport BRGM/RP-51178-FR.

**29/SINAN M ., MASLOUHI R ., RAZACK M.** Utilisation des SIG pour la

caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc.2003, 2nd FIG Régional Conférence Marrakech. Souterraines. Presses de l'Université du Québec/AUPELF.

**30/SOMMERAI Joël.** Article de l'encyclopédie de l'environnement par l'université Grenoble Alpes 4.0 international.2018, ISSN°2555-0950 URL.

**31/STEPHAINE Pin et al.** Étude de trois situations de vulnérabilité chez les personnes âgées de 55 à 85 ans en France.2007. ISSN : 2269-0182.

**32/SUAIS M.F.VINATERjM.BARATA** .vulnérabilité des aquifères des critères cartographie pertinents.1990, R 30890RHA4S90.

**33/wikipéda:** [http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo\\_0003-4010\\_1925\\_num\\_34\\_187\\_8069](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1925_num_34_187_8069)

**34/Yahiaoui N et Arzika A** . etude de la vulnérabilité à la pollution de la région de boulimat par la méthode SINTACS.2017.Thèse master: Environnement et santé publique :abderahmane mira Bejaia

**35/Zaghid K** . cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines karstique du bassin versant du MEFFROUCHE.2013.thèse magister : ressource en eau: université Tlemcen.

**36/Zwahlen F** (Ed). OST Action 620 Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (Karst) aquifers , Université Neuchâtel. Final report. 2004 ,commission, EUR 20912: 297 p.

### **الملخص:**

تقع تقرت في الشمال الشرقي من الصحراء الجزائرية وهي مدينة صحراوية و تستغل المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها المختلفة ، لكن هذا المورد معرض للتلوث بسبب استخدام الأسمدة والمواد الكيميائية المتعلقة بالأنشطة الإنسانية والزراعية. ولحماية هذا المورد ، نقوم بتقييم مدى الضعف لمعرفة درجة خطر التلوث. و من أجل هذا الغرض تتكون دراستنا من التحقق من درجة الضعف في المنطقة الزراعية العانات من خلال طريقتين DRASTIC و SI حيث تعطي النتيجة لطريقة DRASTIC متوسطة وضعيفة بالنسبة لطريقة SI.

### **كلمات المفتاحية:**

مياه الجوفية ،ضعف، تلوث، ميوبليوسان،محيط زراعي، دراستيك،أس إي

### **Résumé:**

Touggourt se site au Nord-est du Sahara algérien .c'est une ville saharienne et ainsi exploité l'eau souterraine pour réponde à leur différents besoins, mais cette ressource est vulnérable à la pollution à cause de l'utilisation des engrais et produits chimique liée aux activités humaine, agricole.

Pour protège cette ressource nous évaluons la vulnérabilité pour connaitre le degré de risque de pollution. Pour cela notre étude consiste à vérifie le degré de vulnérabilité dans le périmètre agricole par deux méthode DRASTIC et SI qu'il montre le résultat et donner le résultat pour la méthode DRASTIC moyennement vulnérable et faiblement pour la méthode SI.

### **Motte-clés:**

Eau souterraine,Vulnérabilité,Pollution,Mio paléocène, Périmètre agricole, DRASTIC,SI.

### **ABSTRACT:**

Touggourt is located in the north-east of the Algerian Sahara. It is a Saharan city and thus exploited ground water to meet their different needs, but this resource is vulnerable to pollution because the use of fertilizers and chemicals. Related to human, agricultural activities.

To protect this resource we assess the vulnerability to know the degree of risk of pollution. For this purpose, our study consists of checking the degree of vulnerability in the agricultural area by two DRASTIC and SI methods that show the result and give the result for the DRASTIC method moderately vulnerable and weakly for the SI method.

### **Keywords:**

Undergroundwater,Vulnerability,Pollution,PaleoceneMio,AgriculturaPerimeter, DRASTIC,SI.

