

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2007

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de géologie

## MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

Option: Hydrogéologie

## THEME

**Ressources en eau, vulnérabilité et développement durable  
dans la plaine de SKIKDA (NE Algérien)**

Présenté par : MEDJANI Fethi

Directeur de mémoire: Mr Khérici Nacer

Pr. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

DEVANT LE JURY:

Président:

Examineurs:

## Remerciement

*A la fin de ce travail, je ne manque d'adresser mes sincères remerciements à notre dieu le grand créateur qui m'a guidé dans mes pats pour arriver à ce niveau.*

*Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail, aux quelles je dois avec plaisir, présenter mes remerciements:*

*-J'ai l'honneur d'avoir comme encadreur monsieur Kférici Nacer, qui n'a pas hésité à me faire confiance, et d'avoir me partager son énorme expérience, je tiens également à le remercier pour ses conseils et son soutien.*

*J'adresse également mes vifs remerciements aux membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.*

*Je tiens aussi à remercier tous les gens de la D.H.W de SKIKDA pour leur aide.*

*J'aime remercier Salim Boubelli, Younsi Houssam, Derouiche Abdemalek et Faouzi Zahi qui m'ont aidé à réaliser ce travail, je leur dis un grand merci pour leur soutien durant tous les moment difficiles.*

*Je remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.*

*-Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous*

*Fethi*

# Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## **Chapitre I: Caractéristiques géographiques et géologiques .....3**

I. Caractéristiques géographiques.....	4
I.1- Situation géographique.....	4
I.2- Situation de la zone d'étude.....	4
I.3- Géomorphologie et relief.....	4
I.4- Climat et végétation.....	6
I.5- Réseau hydrographique.....	6
II. Caractéristiques géologiques.....	8
II.1- Introduction.....	8
II.1-Cadre géologique régionale.....	8
II.2-Les ensembles géologiques.....	8
II.2.1.2- <i>Les dunes anciennes</i> .....	8
II.2.1.1- <i>Les alluvions</i> .....	8
II.2.1- Les formations quaternaires.....	9
II.2.2- Formations du tertiaire.....	9
II.2.2.1- <i>Formations d'oligocène</i> .....	9
II.2.2.2- <i>Les dépôts néogènes</i> .....	9
II.2.3- formations métamorphiques des terrains primaires paléozoïques.....	9
II.3-Contexte structural.....	10
Conclusion.....	11

## **Chapitre II: Hydroclimatologie .....14**

I- HYDROLOGIE.....	15
I-1- Oued SAFSAF.....	15
I-2- Oued Zeramna.....	15

<b>II-CLIMATOLOGIE.....</b>	<b>15</b>
<b>II-1 Les facteurs climatiques.....</b>	<b>16</b>
<b>II-1-1. Les précipitations.....</b>	<b>16</b>
<b>II-1-2 Les températures.....</b>	<b>17</b>
<b>II-1-3 L'humidité.....</b>	<b>18</b>
<b>II-2 Diagramme pluviothermique.....</b>	<b>19</b>
<b>II-3 Notion du bilan d'eau.....</b>	<b>20</b>
<b>II-3-1 Étude de l'évapotranspiration.....</b>	<b>20</b>
<b>II-3-1-1 Estimation de l'évapotranspiration réelle ( ETR).....</b>	<b>20</b>
<b>II-3-1-1-a- Formule de Turc.....</b>	<b>20</b>
<b>II-3-1-1-b- Formule de Coutagne.....</b>	<b>21</b>
<b>II-3-1-2-Estimation de l'évapotranspiration potentielles ( ETP).....</b>	<b>22</b>
<b>II-3-2-Le ruissellement et l'infiltration.....</b>	<b>23</b>
<b>II-4-Interprétation du bilan hydrique.....</b>	<b>25</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>26</b>

## **Chapitre III: Hydrogéologie .....27**

<b>I- Définition du système aquifère.....</b>	<b>28</b>
<b>I-1-La nappe superficielle.....</b>	<b>28</b>
<b>I-2-La nappe profonde.....</b>	<b>28</b>
<b>I-3-Coupe hydrogéologique.....</b>	<b>28</b>
<b>II- Etude de l'écoulement du système aquifère.....</b>	<b>32</b>
<b>II-1- Carte piézométrique de la nappe superficielle.....</b>	<b>33</b>
<b>II-2- Carte piézométrique de la nappe profonde.....</b>	<b>33</b>
<b>III- Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.....</b>	<b>36</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>36</b>

## **Chapitre IV: Hydrochimie .....38**

<b>I- Introduction.....</b>	<b>39</b>
<b>II- Interprétation des résultats.....</b>	<b>41</b>

II-1- Les eaux superficielles et celles de la nappe superficielle.....	41
II-1-a- Paramètres physiques.....	41
II-1-a-1-La température.....	41
II-1-a-2- Le pH.....	41
II-1-a-3- La conductivité.....	41
II-1-b- Les paramètres chimiques.....	41
II-1-b-1- Le calcium.....	41
II-1-b-2- Le magnésium.....	42
II-1-b-3- Le sodium.....	42
II-1-b-4- Les chlorures.....	43
II-1-b-5- Les sulfates.....	44
II-1-b-6- Les bicarbonates.....	44
II-2- Les eaux de la nappe profonde.....	45
II-2-a- Paramètres physiques.....	45
II-2-a-1- La température.....	45
II-2-a-2- La conductivité.....	45
II-2-a-3- Le pH.....	45
II-2-b- Les paramètres chimiques.....	45
II-2-b-1- Le calcium.....	45
II-2-b-2- Le magnésium.....	46
II-2-b-3- Le sodium.....	46
II-2-b-4- Les chlorures.....	47
II-2-b-5- Les sulfates.....	48
II-2-b-6- Les bicarbonates.....	49
III- Représentation graphique des résultats.....	50
III-1 – Diagramme de Piper.....	50
III-1 –a- La nappe superficielle.....	50
III-1 –b- La nappe profonde.....	52
Conclusion.....	54
<b>Chapitre V: Vulnérabilité et risque de pollution.....</b>	<b>55</b>
1- Introduction .....	56

2- Réacteur Sol –Zone non saturée - Nappe.....	56
3- Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection.....	57
4- La zone non saturée.....	61
4-1-Introduction.....	61
4-2-Carte de la zone non saturée.....	61
5- La vulnérabilité de la nappe à la pollution .....	65
5-1-Identification des facteurs de la vulnérabilité.....	65
5-1-1-La pente. ....	65
5-1-2-L'épaisseur de la zone non saturée.....	65
5-1-3-L'occupation du sol .....	65
5-1-4-La densité de population.....	65
5-1-5-La capacité d'infiltration.....	65
5-2–Carte de Vulnérabilité.....	65
5-2-1-Les terrains à forte vulnérabilité (zone A) .....	66
5-2-2- Les terrains à faible vulnérabilité (zone B) .....	66
6 Risque de Contamination de la nappe.....	68
6-1- Carte d'occupation du sol.....	69
La zone Industrielle de SONATRACH.....	69
<i>a- La raffinerie RAI/K.....</i>	69
<i>b – Le complexe GNL .....</i>	69
<i>c-L'unité de G.P.L .....</i>	69
<i>d- Le complexe des matières plastiques GP<sub>1</sub> / K.....</i>	69
<i>e – l'unité de transport U.T.E .....</i>	69
6-2 Carte de risque de contamination.....	71
6-2-1-Zone à fort risque.....	71
6-2-2-Zone à moyen risque.....	71
6-2-3-Zone à faible risque.....	71
Conclusion.....	73
<b>Chapitre VI: Développement durable et code des eaux.....</b>	<b>74</b>
I- Développement durable.....	75
I-1- Définition.....	75
I-2- Le concept de développement durable.....	75

<b>I-3- Développement durable en Algérie.....</b>	<b>77</b>
<b>I-4- Les objectifs nationaux de la stratégie environnementale.....</b>	<b>79</b>
<b>I-5- Développement économique et social et aménagement des ressources en eau dans la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>80</b>
<b>II- Code des eaux.....</b>	<b>83</b>
<b>III- Protection de la nappe.....</b>	<b>84</b>
<b>III-1- Les périmètres de protection immédiats (P.P.I).....</b>	<b>84</b>
<b>III-3- Les périmètres de protection rapprochés (P.P.R).....</b>	<b>85</b>
<b>III-2- Les périmètres de protection éloignés (P.P.E).....</b>	<b>85</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>86</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>88</b>

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau n° 1: Les coordonnées de la station météorologique de SKIKDA (ONM).....</b>	<b>15</b>
<b>Tableau n° 2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06).....</b>	<b>16</b>
<b>Tableau n°3 : Températures moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06).....</b>	<b>17</b>
<b>Tableau n° 4 : Humidités moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1983/84-2005/06).....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau n°5 : Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Turc.....</b>	<b>21</b>
<b>Tableau n° 6 : Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode. de Coutagne.....</b>	<b>21</b>
<b>Tableau n°7 : Bilan hydrique à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06).....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau n°8 : Comparaison entre les trois méthodes de calcul.....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau n°9 : Inventaire des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère côtier de SKIKDA.....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau n°10: Représentation de Piper pour les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>50</b>
<b>Tableau n°11: Représentation de Piper pour les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005).....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau n°12 : Résultat des calculs du pouvoir épurateur du sol de la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>60</b>
<b>Tableau n°13 : Epaisseur de la zone non saturée de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>62</b>



## Liste des figures

<b>Fig n° 1 : Situation géographique de la zone d'étude.....</b>	<b>5</b>
<b>Fig n° 2: Carte de réseau hydrographique du secteur d'étude.....</b>	<b>7</b>
<b>Fig n° 3 : Carte géologique de la région de SKIKDA.....</b>	<b>12</b>
<b>Fig n°4: Carte géologique de la région de SKIKDA (d'après J.M. Villa).....</b>	<b>13</b>
<b>Fig n° 5: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06).....</b>	<b>17</b>
<b>Fig n° 6 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06).....</b>	<b>18</b>
<b>Fig n° 7 : Courbe pluviothermique de la station de SKIKDA (1977/78-2005/06).....</b>	<b>19</b>
<b>Fig n° 8: Représentation graphique du bilan hydrique à la station de de SKIKDA (1977/78-2005/06).....</b>	<b>25</b>
<b>Fig n°9 : Carte du profil de la coupe hydrogéologique.....</b>	<b>30</b>
<b>Fig n°10 : Coupe hydrogéologique dans la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>31</b>
<b>Fig n°11 : Carte d'inventaire des points d'eau dans la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>32</b>
<b>Fig n°12 : Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine de SKIDA (Mai 2005).....</b>	<b>34</b>
<b>Fig n°13 : Carte piézométrique de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>35</b>
<b>Fig n° 14 : Carte d'inventaire des points de prélèvement dans la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>40</b>
<b>Fig n°15 : Variation de la teneur en Ca dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>41</b>
<b>Fig n°16 : Variation de la teneur en Mg dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>42</b>
<b>Fig n°17 Variation de la teneur en Na +K dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>43</b>
<b>Fig n°18 : variation de la teneur en Cl dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>43</b>

<b>Fig n°19 : Variation de la teneur en SO<sub>4</sub> dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>44</b>
<b>Fig n°20 : Variation de la teneur en HCO<sub>3</sub> dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>44</b>
<b>Fig n°21 : Variation de la teneur en Ca dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Août 2005).....</b>	<b>45</b>
<b>Fig n°22 : Variation de la teneur en Mg dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Août 2005).....</b>	<b>46</b>
<b>Fig n°23 : Variation de la teneur en Na +K dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA ( Juillet 2002, Mai 2005 ) .....</b>	<b>47</b>
<b>Fig n°24 : Variation de la teneur en Cl dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005).....</b>	<b>48</b>
<b>Fig n°25 : Variation de la teneur en SO<sub>4</sub> dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005).....</b>	<b>49</b>
<b>Fig n°26 : Variation de la teneur en HCO<sub>3</sub> dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005).....</b>	<b>50</b>
<b>Fig n°27 : Diagramme de Piper pour la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005).....</b>	<b>51</b>
<b>Fig n°28 : Diagramme de Piper pour la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Août 2005).....</b>	<b>53</b>
<b>Fig n°29: Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée.....</b>	<b>57</b>
<b>Fig n°30 : Carte d'épaisseur de la zone non saturée dans la plaine de SKIKDA ( Mai 2005).....</b>	<b>64</b>
<b>Fig n°31: Carte de vulnérabilité de la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>67</b>
<b>Fig n°32:Schéma explicatif d'établissement de la carte de risque.....</b>	<b>68</b>
<b>Fif n°33: Carte d'occupation du sol de la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>70</b>
<b>Fig n°34: Carte de risque de contamination de la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>72</b>
<b>Fig n°35:Répartition des différentes zones de risque sur la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>73</b>
<b>Fig n°36:Carte d'aménagements futurs de la plaine de SKIKDA.....</b>	<b>82</b>

# INTRODUCTION

## Générale

---

*L'eau présente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique. Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie du Nord d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution.*

En Algérie, la nouvelle politique instaurée récemment vise à protéger et à sauvegarder les ressources en eaux dans leurs gisements, avant qu'elles ne soient contaminées. En effet, les techniques de décontamination des nappes polluées sont longues, coûteuses et ne permettent pas de restaurer la potabilité des eaux. La plaine de SKIKDA, à vocation essentiellement industrielle, a connu, il y a une dizaine d'années, un développement industriel accéléré important, avec pour conséquences des rejets abondants non traités dans le milieu physique. Aussi, dans un avenir proche, il est à craindre que la qualité des eaux souterraines ne soit plus aux normes de potabilité pour l'alimentation humaine mais également pour beaucoup d'autres utilisations. L'étude réalisée ici vise à localiser sur une carte les zones vulnérables et à faire l'inventaire des causes de pollution réelles ou potentielles d'origine naturelle et anthropique.

Lutter contre la dégradation des ressources et contre les pollutions exige un développement technologique qui ne peut voir le jour que dans un contexte de croissance. Plutôt que d'opposer environnement et croissance, il est plus avisé de mettre les mécanismes économiques au service de la protection de l'environnement.

Les inter-relations entre conditions environnementales et bien-être humain sont très complexes. Le développement est en partie fonction de la capacité de l'environnement à fournir toute une gamme de biens et de services et à les maintenir dans le futur. La détérioration de l'environnement et les mauvaises conditions environnementales touchent de manière disproportionnée les couches les plus défavorisées de la population, leur santé et leurs revenus.

# CHAPITRE I

## Caractéristiques géographiques et géologiques

---

*La région de Skikda fait partie des bassins côtiers Constantinois au Nord-Est de l'Algérie. Elle se trouve entre la longitude 6°, 50 Est et la latitude 36°,35 Nord*

*La Wilaya de Skikda s'étend sur une superficie de 55 82 Km<sup>2</sup>. Elle compte une population d'environ 800.000 habitants, soit une densité de 192 ha/Km*

## **I- Caractéristiques géographiques**

### **I.1- Situation géographique**

La région de Skikda fait partie des bassins côtiers Constantinois au Nord-Est de l'Algérie. Elle se trouve entre la longitude 6°, 50 Est et la latitude 36°,35 Nord

La région de Skikda s'étend sur une superficie de 55 82 Km<sup>2</sup>. Elle compte une population d'environ 800.000 habitants, soit une densité de 192 ha/Km<sup>2</sup>.

### **I.2- Situation de la zone d'étude**

Le site d'étude est un terrain pratiquement plat délimité à l'Ouest par la route nationale N° 44, au Sud par la région de Beni Bechir.

Il appartient à la partie Nord-Est du bassin versant de l'Oued Saf-Saf (*fig. 1*).

Dans cette région se trouvent la zone industrielle de Skikda, et les secteurs Hammadi Krouma (Ex: Domremont) et Hammoudi Hamrourch (Ex: Vallée).

### **I.3- Géomorphologie et relief**

Autour de la région de Skikda se trouvent quelques reliefs :

- Le Djebel El Alia et le Djebel Filfila à altitudes variant entre 400 et 600 m.
- La chaîne numidique ou Dorsale de l'Atlas tellien, barrière physique Est-Ouest, composée de plusieurs massifs dont le Kef Sidi Driss culminant à 1364m. La partie septentrionale de la chaîne numidique prend une orientation Sud-Ouest, Nord-Est ; les altitudes diminuent et atteignent 620m à Kef Moma et 600m au Kef Sebarvoud.



--- Situation de la zone d'étude

**Fig n° 1 : Situation géographique de la zone d'étude**

#### **I.4- Climat et végétation**

Le climat qui règne sur la région de Skikda est un climat sub-humide à humide tempéré relativement doux, influencé par la mer méditerranéenne, caractérisé par deux saisons distinctes :

- Une saison un peu froide et humide, qui s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, elle est caractérisée par une température moyenne de l'ordre de 14°C.

- Une saison chaude et sèche allant du Mai jusqu'à Septembre caractérisée par une température moyenne 22°C. La température moyenne annuelle de l'ordre de 18°C.

Ces conditions climatiques imposent le développement d'une végétation typique dans la région. On trouve surtout des cultures maraîchères et la céréaliculture ainsi que des orangeries et des vignes, les montagnes sont couvertes de maquis et des chaînes liège.

#### **I.5- Réseau hydrographique**

La région de Skikda est traversée par trois principaux cours d'eau à l'Est Oued Kébir, à l'Ouest Oued Guebli, et au centre Oued Saf-Saf (*fig. 2*).

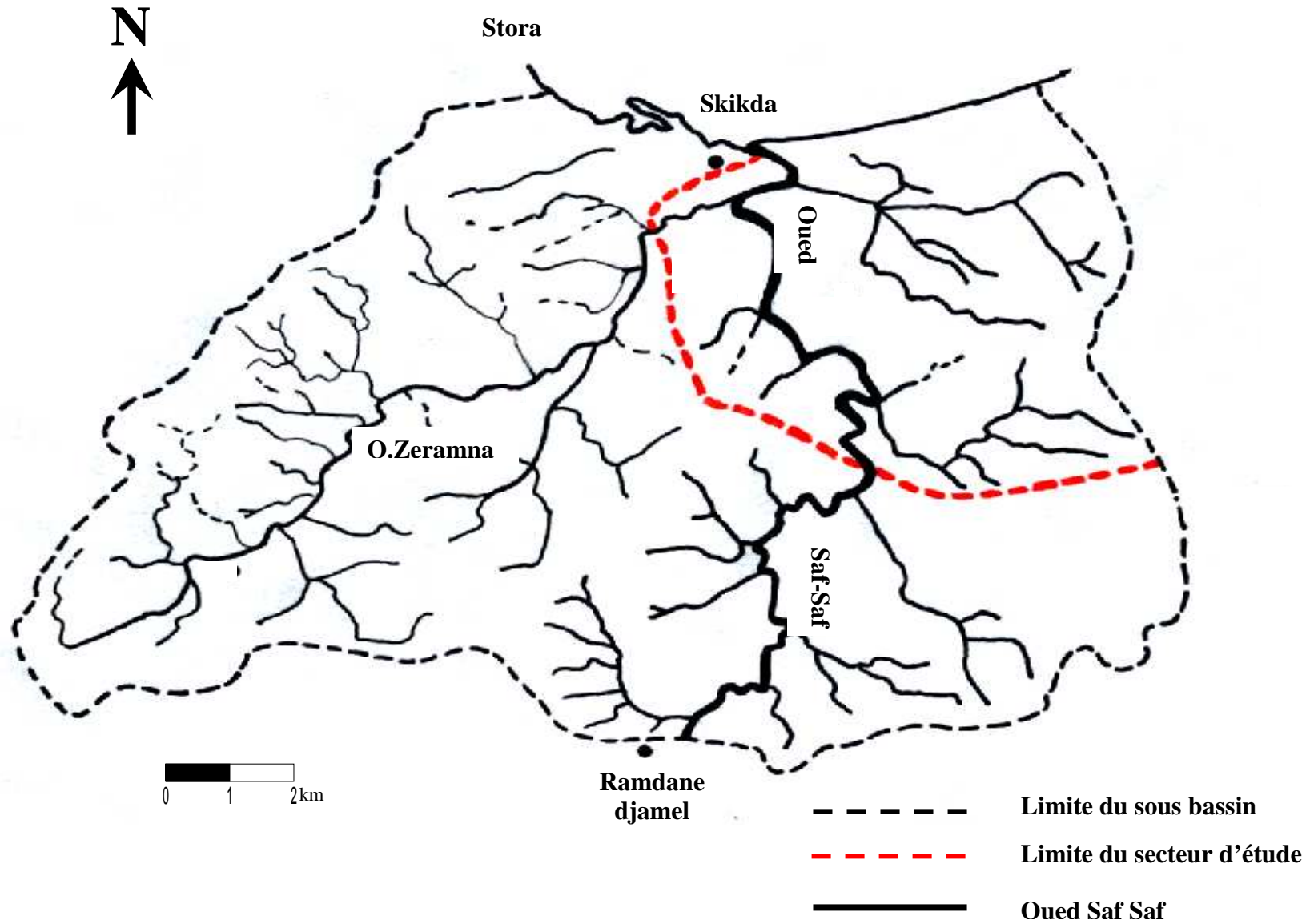
La zone d'étude est traversée par :

- Oued Saf-Saf qui s'écoule suivant un tracé Sud-Nord rejoignant la mer.
- Oued Zeramna avec un écoulement Sud Ouest - Nord Est qui est un affluent de Oued Saf-Saf.

Ces deux oueds reçoivent les eaux de plusieurs Oueds temporaires et Châaba.



**Fig n° 2: carte de réseau hydrographique du secteur d'étude**



## **II- Caractéristiques géologiques**

### **II.1- Introduction**

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique. La géologie permet d'identifier les matériaux et les structures des formations susceptibles de conduire l'eau des précipitations en profondeur. Elle permet aussi de déterminer le type d'aquifère

### **II.1-Cadre géologique régionale**

La géologie de l'Algérie septentrionale a été affectée par deux grandes périodes tectoniques en relation avec l'orogène Alpin ; il s'agit de la période Mésozoïque à Miocène inférieur et la période Mio-Plio-Quaternaire.

Du point de vue géologique au sens régional, l'Algérie du Nord comprend trois ensembles qui sont :

- 1- Le domaine des massifs primaire Kabyles.
- 2- Le domaine tellien.
- 3- Le domaine prés saharien composé :
  - Des hauts plateaux.
  - De l'Atlas saharien.

Notre secteur d'étude fait partie de l'ensemble géologique des massifs primaires kabyles. Il est séparé des bassins d'El Harouch, Salah Bouchaour, Emdjaz-Ed-Chich et Ramdane Djamel par une ligne de relief de direction NE-SW.

### **II.2-Les ensembles géologiques**

De point de vu environnement géologique, la zone d'étude se présente complexe du fait qu'elle comprend deux ensembles de terrains géologiques différents : d'origine métamorphique et d'origine sédimentaires.

#### **II.2.1- Les formations quaternaires**

Elles sont représentées par des alluvions et des dunes anciennes.

##### ***II.2.1.1- Les alluvions***

On distingue trois types différents :

- les alluvions actuelles : représentées par des sables, des limons du lit moyen de Oued Saf-Saf et Zeramna et des sables des plages.
- alluvions récentes : constituées de limons et de galets.

- des alluvions anciennes des vallées, d'âge Pléistocène : ce sont des terrasses de limons, de cailloux roulés pouvant atteindre une épaisseur égale à 20m.

### ***II.2.1.2- Les dunes anciennes***

Les dunes anciennes se trouvent au Nord-Est de la plaine de Skikda, le long de la côte. Elles sont constituées par trois niveaux :

- Le niveau inférieur, qui atteint une élévation de 40 à 50 m, contient les alluvions récentes du Saf-Saf.

- Le niveau moyen, qui atteint 80 m, contient les alluvions anciennes.

- Le niveau supérieur développé sur les schistes paléozoïques. Ceci s'observe dans la forêt du Djebel El Alia dans la partie Nord-Est du secteur d'étude.

## **II.2.2- Formations du tertiaire**

### ***II.2.2.1-Formations d'oligocène :***

Elles sont représentées par :

Les grés Numidien : ce sont des grés jaunâtres à grains fins. Ils présentent à divers niveaux des minces lits argilo sableux. Ce faciès gréseux prédominant au centre du secteur d'étude au niveau de Dj Tefifera.

- Grés et poudingues : les poudingues sont formées de cailloux roulés, de micaschistes, de gneiss et surtout de quartz filoniens qui s'intercalent les assises gréseuses ou argileuses.

La puissance de l'ensemble varie de 10 à 50m, il est bien développé au niveau de Dj Soubouyou.

### ***II.2.2.2- Les dépôts néogènes***

Les dépôts néogènes comprennent des sédiments du Miocène supérieur et du Pliocène. Ils sont composés de conglomérats à la base, surmontés de dépôts argilo-marneux et de sables. Les argiles et les marnes contiennent des évaporites.

## **II.2.3- Formations métamorphiques des terrains primaires paléozoïques**

- Schistes et Phyllades : gris bleuâtres, argileux ou satinés, recoupés de nombreux filonnets, souvent lenticulaires de quartz laiteux. Ces roches forment une grande partie de Dj Soubouyou et Dj Alia, trouvées au centre, à l'Est et à l'Ouest de SKIKDA.

- Schistes granulitisés (gneiss) : ils présentent la texture des gneiss glanduleux, mais ils sont liés aux schistes dont ils se distinguent par la présence de nombreux cristaux de feldspath. Cette formation se trouve au niveau de Dj Alia au Nord-Est de secteur d'étude.
- Micaschistes granulitisés : gneiss schisteux alternant parfois avec des micaschistes, ils forment un passage du vrais gneiss ou micaschistes, ils se trouvent à l'Ouest de secteur d'étude au niveau du Dj Messiquéne.
- Schistes micacés : c'est le passage des schistes argileux aux micaschistes et gneiss schisteux.
- Cette formation se trouve dans la partie Nord-Ouest de secteur d'étude vers la vallée de Zeramna.

### **II.3-Contexte structural**

En hydrogéologie, il n'y a pas que la nature des terrains qui a de l'importance dans le processus de recharge de l'aquifère. La tectonique joue tout autant un rôle très important du fait que les fissures et les accidents favorisent l'infiltration des eaux ; dans certains cas, les failles élargies par processus de dissolution, servent de conduits et drainent les eaux souterraines comme c'est le cas des aquifères karstiques.

D'après Raoult 1974 des phases tectoniques les plus importantes sont :

- les mouvements tectoniques précoces (Crétacé Paléocène).

La dorsale Kabyle (Dj rhedir) est affectée par de nombreuses failles durant le Jurassique et le Néocomien (Barrémien).

L'action de ces mouvements s'étend au niveau de la dorsale médiane (DJ Bou Abed). La sous zone de Tingoute a été fortement tectonisée ; pendant le Dracono-Cénomanién, une partie de la dorsale externe est charriée sur la série de Rhedir.

- la phase fini-Lutétienne (Lutétien supérieur – Priabonien de Dj Tingout et Dj rhedir)  
Cette phase est caractérisée par une tectonique tangentielle qui poste Paléogène
- la phase fini-Oligocène et Miocène : elle est caractérisée par de nombreuses fissures et failles. Cette phase est responsable de l'accident d' El Kantour et de la position structurale de la série de Filfila.

## **Conclusion**

Un des buts essentiels de chaque étude hydrogéologique, est bien l'identification des aquifères, qui sont tous d'abord définis par un espace fini au continu dit "réservoir". Ce dernier est caractérisé par sa lithologie, sa structure, son épaisseur et sa localisation.

Pour bien déterminer ces caractéristiques l'étude géologique est fondamentale. Parce qu'elle comprend le contenu lithologique et les différentes structures des formations, ainsi elle fournit les formations utiles à une étude hydrogéologique.

Le réservoir est identifié par la présence des pores ou des fissures. C'est une formation géologique susceptible d'emmagasiner de l'eau, sa capacité est liée essentiellement à la nature lithologique des terrains, son extension et son épaisseur.

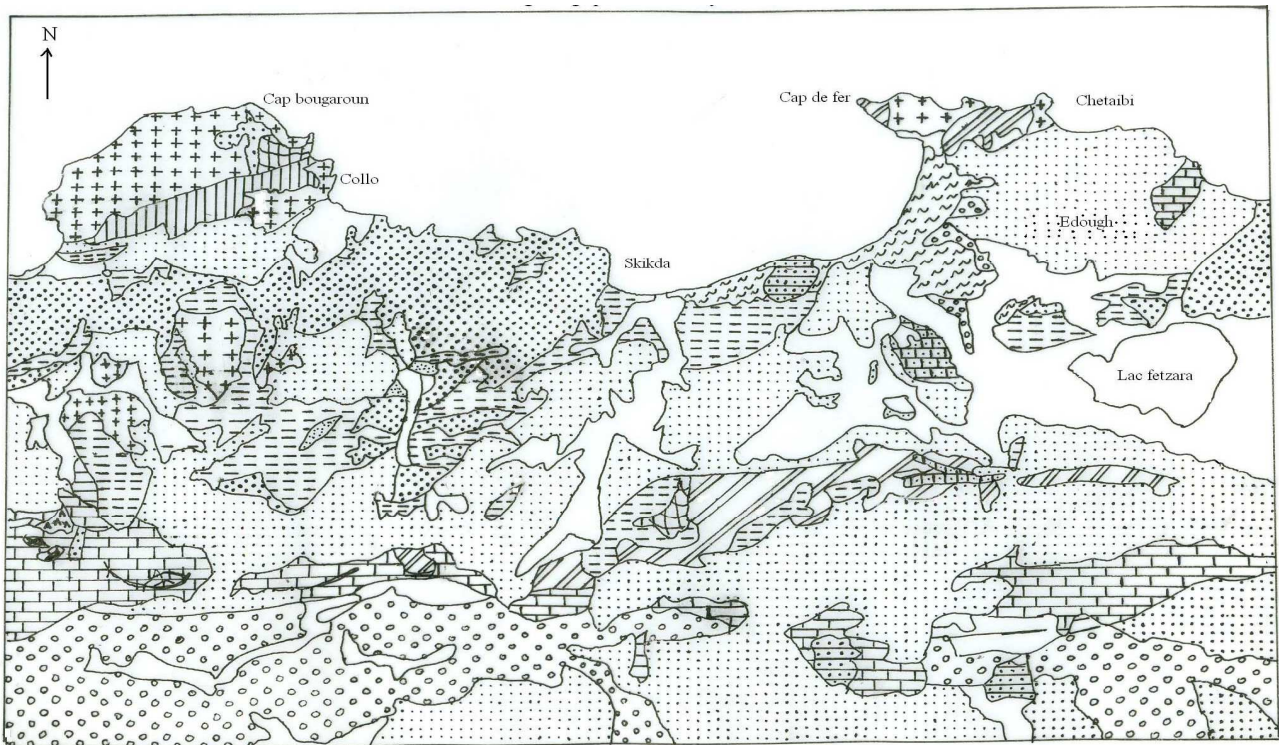
Les différents ensembles réservoirs de notre secteur d'étude sont :

- Les sédiments quaternaires composés d'alluvions (limons et cailloux) et déposés au niveau de l'Oued Saf-Saf et de l'Oued Zeramna, et de sables dunaires au Nord-Est de la plaine. Ces formations constituent un réservoir très important avec une perméabilité élevée et une épaisseur qui varie entre 40 et 50m.
- Les sédiments tertiaires formés de grès, et de poudingues et d'argiles constituent un réservoir moins important, car il est peu poreux. L'épaisseur de cette formation varie de 10 à 50 m.

Dans l'ensemble, ces formations constituent un réservoir de puissance pouvant atteindre 100m. Il est formé de sédiments globalement imperméables à la base constituant le substratum de l'aquifère, recouvert de dépôts de plus en plus poreux vers la surface.

Au plan hydrogéologique, la zone d'étude comprend deux types de formations :

- Les formations imperméables constituent 60% de la superficie total du bassin superficiel. Ce type des formations facilite le ruissellement des eaux du surface, drainées par les oueds.
- Les formations perméables occupent 40% de la superficie totale de secteur d'étude dans les quelles s'écoulent les eaux d'infiltration. Vu la perméabilité de ces formations géologiques, les eaux de précipitations s'infiltrent à travers des pores pour l'alimentation et le renouvellement des eaux souterrains



Echelle: 1/500.000

**Terrains sédimentaires**

	Alluvions actuelles
	Dunes récentes
	Quaternaire continental
	Miocène continental
	Oligocène
	Eocene inférieur marin
	Cretace supérieur
	Cretace inférieur
	Jurassique
	Trias

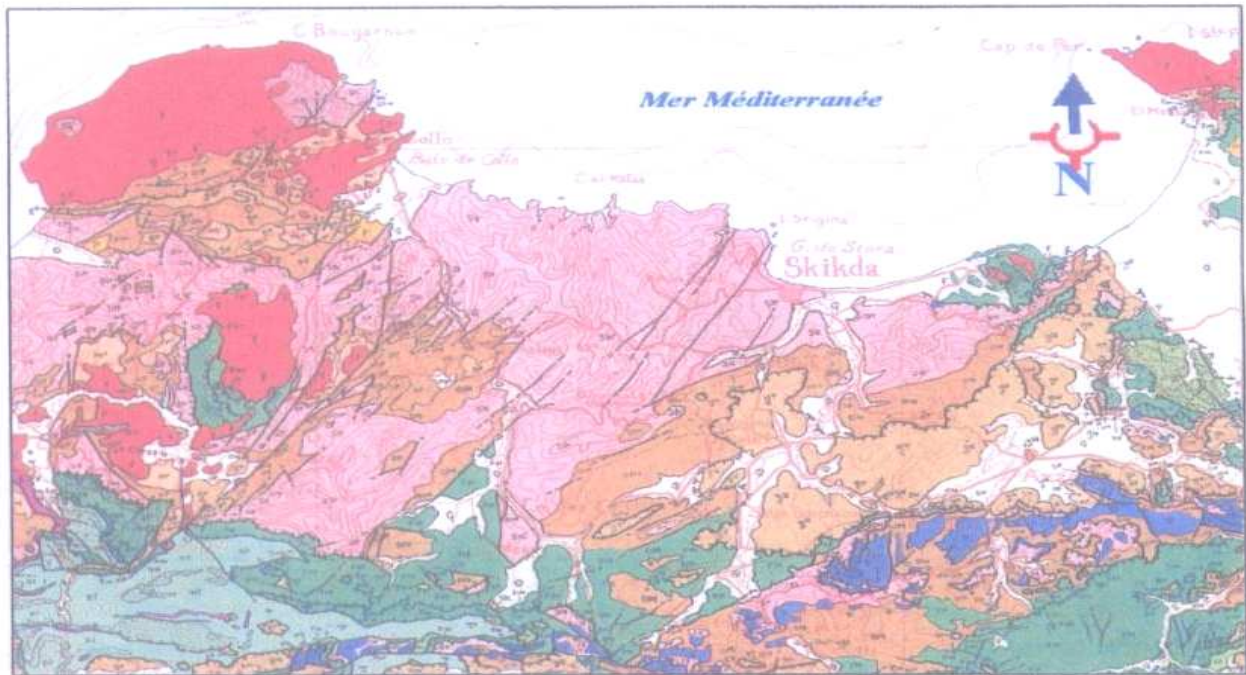
**Terrains métamorphique**

	Métamorphique de contact
	Micaschistes et schistes
	Gneiss

**Roches ignées**

	Serpentine
	Granite
	Andésite
	Faille

**Fig n° 3 : Carte géologique de la région de SKIKDA**  
**(Benkherourou.F et Tebbi.A, 1996)**



Echelle : 1/500000

Légende :

**ROCHES ERUPTIVES RECENTES**

Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.

**SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE**

Oligo-Miocène Kabyle, olistostromes à flyschs resédimentés (y compris le Numédien) et flyschs en position nord-kabyle (F').

CHAÎNE CALCAIRE : Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones internes, médiane et externe.

SK-Socle métamorphique de petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres).

**NAPPES TELLIENNES**

**NAPPES TELLIENNES S.S.**

T. UNITÉS TELLIENNES NON DIFFERENCIÉES PARFOIS RÉDUITES À LEUR EOCÈNE DE COLLE.

**TRIAS EXOTIQUE OU EXTRUSIF**

Argiles, gypses broyés et glaçons calcaro-dolomitiques.

**NAPPE NUMIDIENNE**

Grès numédiens et séries mixtes.

**ROCHES RECENTES ET CYCLES POSTÉRIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR.**

Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).

Pliocène marin des zones côtières.

**NAPPES DE FLYSCHS KABYLIES, FLYSCHS MAURETANIENS**

Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Taleb, de la Robertseau (Souk es Sebt) et de la Marsa. Séries médianes de Guerrouch, d'El Kam, de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn Berda (Penthièvre) Séries externes (ex-"Medjan") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mezzouch et de Ziane.

**Fig n°\*\*:** Carte géologique de la région de SKIKDA

**(J.M.Vila 1977)**

# CHAPITRE

## Hydroclimatologie

*L'étude hydroclimatique est nécessaire pour mieux comprendre les mécanismes d'échange et de circulation des eaux superficielles .Elle permet également d'identifier les termes du bilan hydrique notamment les précipitations, les températures,l'évapotranspiration,le ruissellement et l'infiltration.*



## **I- HYDROLOGIE :**

La zone d'étude est traversée par deux oueds principaux

**I-1- Oued SAFSAF :** c'est le principal oued dans le bassin versant de SAFSAF, il débute au Sud dans les monts de Constantine, de direction Nord – Sud sa longueur est de 53.19 Km (ABH Constantine) , ses affluents sont l'oued Zeramna et oued Haddratz. Il traverse le bassin dans une direction SE-NW jusqu'au village de Ramdane Djamel, ensuite suivant une orientation NW-NE vers la plaine de Zeramna pour se jeter finalement dans la mer Méditerranée, son apport hydraulique est estimé à la station de Khemakhem en l'an 2000 à 150 Mm<sup>3</sup>, il draine une superficie de 1154 Km<sup>2</sup> (ABH de Constantine).

**I-2- Oued Zeramna :** c'est un affluent de oued SAFSAF, il prend naissance dans les zones montagneuses de Bouchtata avec une longueur de 15.5 Km, il draine une superficie de 98 Km<sup>2</sup> .

## **II-CLMATOLOGIE:**

LA station météorologique de SKIKDA gérée par l'office national de la météorologie, et dont la période d'observation va de 1977 à 2006, a servi pour l'évaluation des facteurs du bilan. Cette station est située selon les coordonnées Lambert suivantes :

**Tableau n° 1: Les coordonnées de la station météorologique de SKIKDA**

**(ONM)**

<b>Station</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>longitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>Période d'observation</b>
<b>ONM</b>	36° 53 N	06° 54 E	1m	1977-2006

## II-1 Les facteurs climatiques :

### II-1-1. Les précipitations :

Les précipitations sont un facteur essentiel caractérisant le climat d'une région et sont un des éléments principaux du bilan hydrique. Elles jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eaux et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

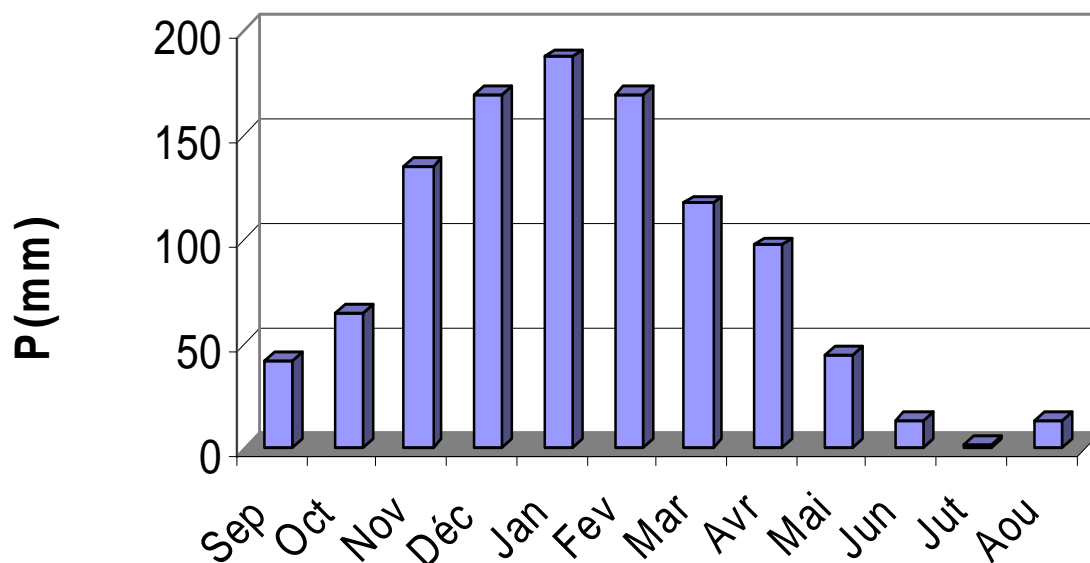
Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grand nombre d'années ou dite précipitation moyenne mensuelle donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations ;

Les moyennes des précipitations pour la période 1977-2006 sont résumées dans le tableau suivant

**Tableau n° 2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jut	Aou
P(mm)	42.52	64.82	134.43	169.20	187.2	168.86	117.2	97.17	45.2	14.02	2.47	12.92

La représentation en histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de SKIKDA montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à un autre, avec un maximum de l'ordre de 187.20mm pendant le mois de Janvier, et un minimum de l'ordre 2.47 mm au mois de Juillet.



**Fig n°5 : histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06)**

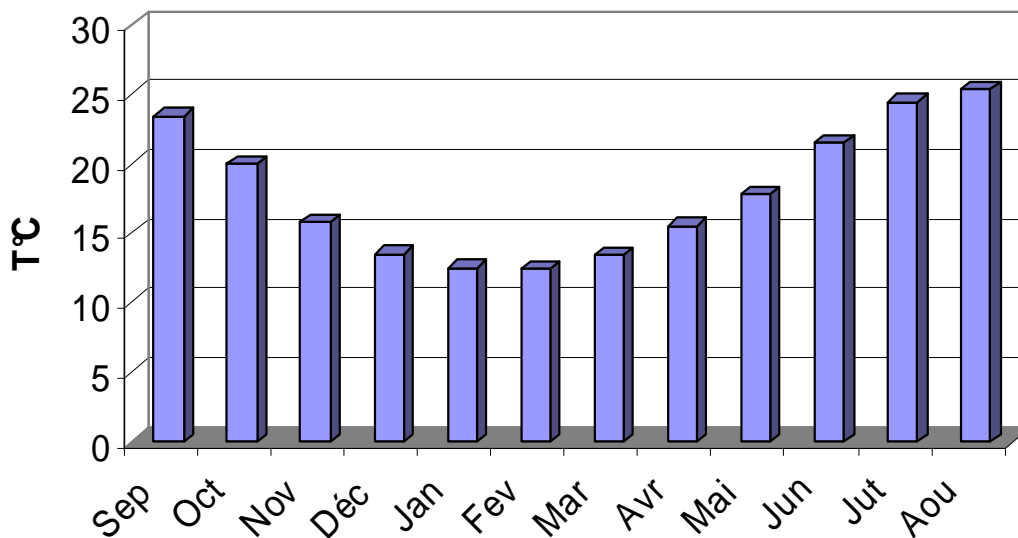
### **II-1-2 Les températures :**

La température est un facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrologique, ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

Les données de température observées pendant une période de 28 ans (1978-2006) à la station de SKIKDA (tableau n°3), font ressortir que les températures moyennes minimales sont enregistrées durant le mois de Février (12.4 mm), tandis que la température moyenne maximale s'observe durant le mois de Août avec une valeur de l'ordre de 25.3 mm.

**Tableau n°3 : Températures moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jut	Aou
T°C	23.4	20.0	15.8	13.5	12.5	12.4	13.4	15.5	17.8	21.5	24.4	25.3



**Fig n°6 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06)**

### **II-1-3 L'humidité**

L'humidité relative de l'air montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation, elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Ce paramètre intervient comme coefficient de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50%.

**Tableau n° 4 : Humidités moyennes mensuelles à la station de SKIKDA (1983/84-2005/06)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jut	Aou
H(%)	73.87	73.70	73.52	74.45	73.82	74.45	73.45	73.14	75.14	74.04	72.74	73.21

L'humidité maximale est observée au mois de Mai avec une valeur de l'ordre de 75.14 %, alors que la valeur minimale est observée au mois de Juillet (72.74 %).

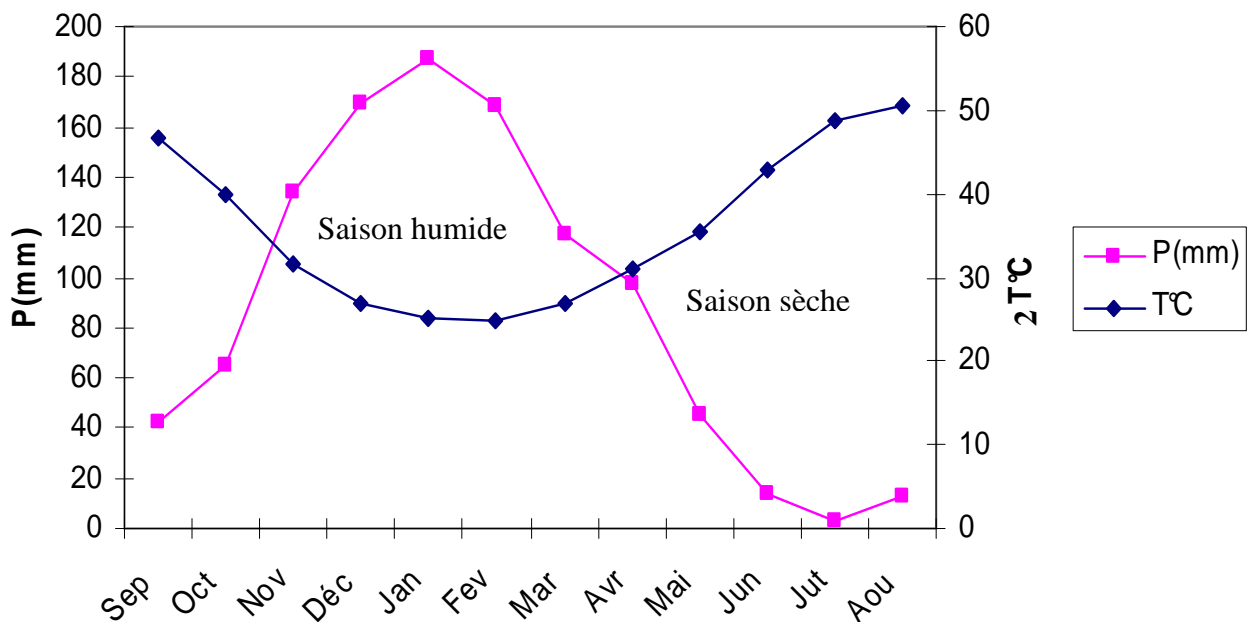
## II-2 Diagramme pluviothermique:

Le diagramme pluviothermique est établi, en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles pour déterminer les périodes sèches et humides.

D'après ce diagramme, on peut déterminer deux périodes bien distinctes :

-Une saison sèche et chaude qui s'étend du début du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre.

-Une saison humide et froide qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril.



**Fig n° 7 : Courbe pluviothermique de la station de SKIKDA (1977/78-2005/06)**

### **II-3 Notion du bilan d'eau :**

Le bilan de l'eau global correspondant à une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration), pour cela, on va se baser sur les données de la station de SKIKDA en utilisant une série d'observation de 28 ans.

#### **II-3-1 Étude de l'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, représentée par une quantité d'eau et restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur. L'évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation (physique) et transpiration (biologique).

Le phénomène d'évapotranspiration réelle et potentielle peut être mesurer directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évaporomètre, grâce également à des lysimètres, ou calculer par des formules empiriques telles que celle de **Turc** ou de **Thornthwaite** .....etc.

##### **II-3-1-1 Estimation de l'évapotranspiration réelle ( ETR) :**

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température. L'évapotranspiration réelle est liée à la quantité de pluie tombée dans le bassin et de la réserve maximale en eau du sol.

##### **II-3-1-1-a- Formule de Turc :**

$$\text{ETR} = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où} \quad L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Avec :

**ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

**P** : Précipitation annuelle en mm.

**T** : Température moyenne annuelle en °C.

**L** : Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le tableau suivant

**Tableau n°5 : Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Turc**

Paramètre Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/ an)
SKIKDA	1056.01	17.95	1037.92	759.72

**II-3-1-1-b- Formule de Coutagne :**

$$ETR : P - \lambda p^2$$

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond aux conditions suivantes :

$$1/8\lambda < P < 1/2\lambda \quad \text{Pour} \quad \lambda = 1 / (0.8 + 0.14 T)$$

Avec :

**ETR :** Evapotranspiration réelle en mm.

**P :** Précipitation moyenne annuelle en mm.

**T :** Température moyenne annuelle en °C.

Les résultats sont portés dans le tableau suivant:

**Tableau n° 6 : Evapotranspiration réelle annuelle selon la méthode de Coutagne**

Paramètre Station	P (mm)	T (°C)	$\lambda$	ETR (mm/ an)
SKIKDA	1056.01	17.95	0.3	722

### **II-3-1-2-Estimation de l'évapotranspiration potentielles ( ETP) :**

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales . Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons appliqué la formule de **Thornthwaite** .

$$\mathbf{ETP = 16 (10 T/ I)^a . K}$$

Avec :  $i = (T/5)^{1.514}$        $I = \sum_{i=1}^{12} i$       ,       $a = (1.6/100)I + 0.5$

**ETP** : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm

**T** : Température moyenne du mois considéré en °C .

**K** : Coefficient d'ajustement mensuel (donné en fonction de l'altitude et du mois considéré) .

**I** : indice thermique annuelle.

Les résultats sont portés dans le tableau n°7.

**Tableau n°7 : Bilan hydrique à la station de SKIKDA**  
**(1977/78-2005/06)**

Mois Paramètre	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars.	Avr.	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
P( mm)	42.52	64.82	134.43	169.2	187.2	168.86	117.20	97.17	45.20	14.02	2.47	12.92	1056.01
T (°C)	23.4	20.0	15.8	13.5	12.5	12.4	13.4	15.5	17.8	21.5	24.4	25.3	17.95
i	10.12	8.00	5.61	4.43	3.95	3.90	4.38	5.45	6.71	8.91	10.78	11.38	83.6
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	
ETP(mm)	110.5	71.84	38.46	26.92	24.38	25.67	38.69	56.94	84.20	119.86	151.10	150.52	601.28
ETR(mm)	42.52	64.82	38.46	26.92	24.38	25.67	38.69	56.94	84.20	75.02	2.47	12.92	493.01
RFU(mm)	0	0	95.97	100	100	100	100	100	61	0	0	0	
DA(mm)	67.98	7.05	0	0	0	0	0	0	0	44.84	148.63	137.60	406.10
EXC(mm)	0	0	0	138.25	162.82	143.19	78.51	40.23	0	0	0	0	563



D'après le bilan hydrique dans la station de SKIKDA, calculé par la méthode de Thornthwaite, nous constatons que la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois d'Octobre pour atteindre son maximum (100 mm) de Décembre à Avril, période pendant laquelle il y a un surplus d'eau se manifestant par un écoulement. La RFU diminue à partir du mois de Mai jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Juin, où on observe l'apparition de déficit agricole (DA) qui se poursuit jusqu'à Octobre.

-Des précédents résultats, nous proposons une comparaison. L'utilité de cette dernière réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes pour aboutir à une meilleure approche de l'ETR, ce qui par la suite fera ressortir la formule la mieux appropriée à notre région d'étude ;

Les résultats représentés par le tableau ci-dessous montrent une différence entre les résultats des différentes méthodes de calcul, mais la méthode de Thornthwaite est la plus appropriée pour de tels calculs car elle contient un facteur de correction K qui intègre la durée d'insolation.

**Tableau n°8 : Comparaison entre les trois méthodes de calcul**

Méthode Station	Thornthwaite	Coutagne	Turc
SKIKDA	493.01	722	759.72

### **II-3-2-Le ruissellement et l'infiltration :**

Pour déterminer le bilan hydrologique. Il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre.

La formule de **TIXERONT-BERKALOFF** permet d'estimer le coefficient de ruissellement (R)

$$R = \left[ \frac{P^3}{3[ETP]^2} \right]$$

Avec

R: Ruissellement en (mm).

P: précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP: évapotranspiration potentielle en (mm).

**NB:**

Cette formule n'est valable que pour des valeurs des précipitations moyennes annuelles ne dépassent pas les 600mm.

Si la précipitation P est supérieure à 600mm (notre cas d'étude), on utilise la formule suivante:

$$R = P^3 / 3$$

La valeur obtenue est de l'ordre de **392.54 mm**.

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol, elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain et sortant après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous – sol.

La formule de bilan globale: **P = R + I + ETR**

On aura : **I = P - R - ETR**

Avec

P: précipitation moyenne mensuelle en mm.

R: Ruissellement en mm.

I: l'infiltration en mm

ETR: évapotranspiration réelle calculée selon la formule de THORNTHWAITE en mm.

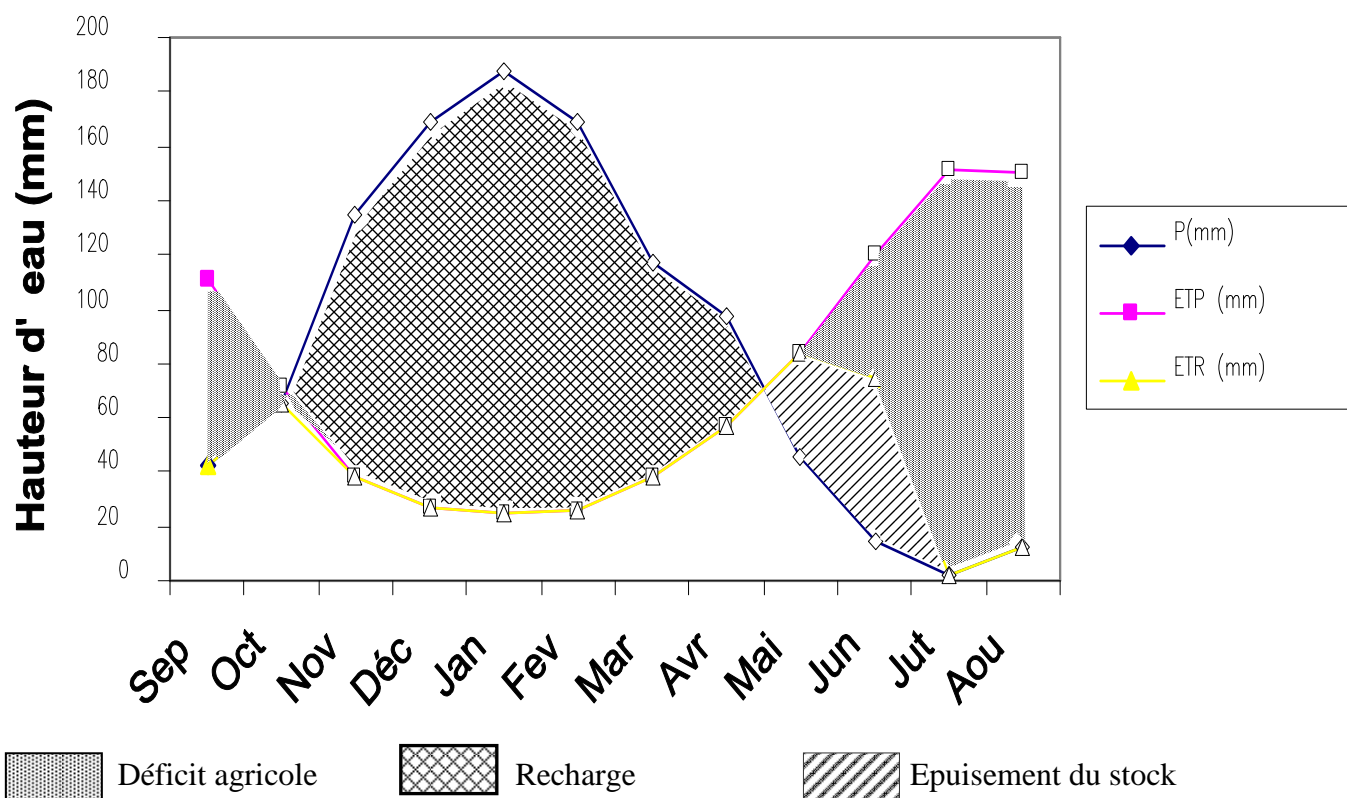
La valeur obtenue est **170.46 mm**.

## II-4-Interprétation du bilan hydrique :

L'établissement du bilan hydrique a pour but de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, EXC), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologique (Laborde, 1982).

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement et dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole ( DA ).

L'observation de l'allure de la station de SKIKDA (fig n°7 ) montre que :  
L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (151.10 mm) et son minimum au mois de Janvier 24.38 mm), l'excédent à partir du mois de Décembre et s'étale jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Janvier (162.82 mm) , l'épuisement du stock commence au mois d'Avril et se termine au mois de Juillet avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet imposant une irrigation .



**Fig n°8 : Représentation graphique du bilan hydrique à la station de SKIKDA (1977/78-2005/06)**

## **Conclusion :**

L'étude des données climatiques durant la période d'observation de 28 ans a permis d'attribuer à la région d'étude un climat tempéré influencé par la mer méditerranée et caractérisé par deux saisons bien distinctes :

- Une saison chaude et sèche.
- Une saison froide et humide.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1056.01 mm, ceci dit que le sous bassin de Saf-Saf est parmi les régions les plus arrosées en Algérie.

L'appréciation du bilan d'eau par la méthode de THORNTHWAITE a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (151.10 mm) et son minimum au mois de Janvier (24.38 mm), l'excédent à partir du mois de Décembre et s'étale jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Janvier (162.82 mm) , l'épuisement du stock commence au mois d'Avril et se termine au mois de Juillet avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet imposant une irrigation.

Du point de vue hydrologique la zone d'étude est traversée par deux oueds principaux

**-Oued SAFSAF** : c'est le principal oued dans le bassin versant de SAFSAF, il débute au Sud dans les monts de Constantine, de direction Nord – Sud sa longueur est de 53.19 Km (ABH de Constantine).

**-Oued Zeramna** : c'est un affluent de oued SAFSAF, il prend naissance dans les zones montagneuses de Bouchtata avec une longueur de 15.5 km.

# CHAPITRE

# III

## Hydrogéologie

---

*L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère, sa géométrie, sa limite et son alimentation, et de définir l'ensemble du système d'écoulement souterrain par l'étude de la piézométrie.*

## **I- Définition du système aquifère**

Les différentes structures et unités géologiques déterminent deux types de nappes constituent le système aquifère de la nappe de SKIKDA :

- Une nappe superficielle sableuse.
- Une nappe profonde graveleuse.

### **I-1-La nappe superficielle**

La nappe superficielle est contenue dans les sables quaternaires, son épaisseur varie de 8 à 30 m. Elle est en relation directe avec la surface, repose sur un substratum marneux imperméable qui devient semi-perméable au Sud avec un changement de faciès par des roches argilo sableuses. Cette nappe est alimentée par les précipitations atmosphériques ou par les crues des oueds SAFSAF et ZERAMNA.

### **I-2-La nappe profonde**

La nappe dite profonde est largement répandue dans la zone d'étude. Elle est contenue dans les graviers du Quaternaire. Cette nappe est limitée de tous les cotés par des formations métamorphiques (schistes et phyllades) sauf au Nord où elle est limitée par la mer méditerranée. Le substratum de cette nappe est formé par des marnes et son toit est marneux à l'Ouest et tend à disparaître vers l'Est en laissant la place à une formation semi-perméable composée d'argile sableuse. L'alimentation de cette nappe s'effectue par les précipitations, par la drainance à partir de la nappe superficielle et par les oueds SAFSAF et ZERAMNA dans la partie ouest.

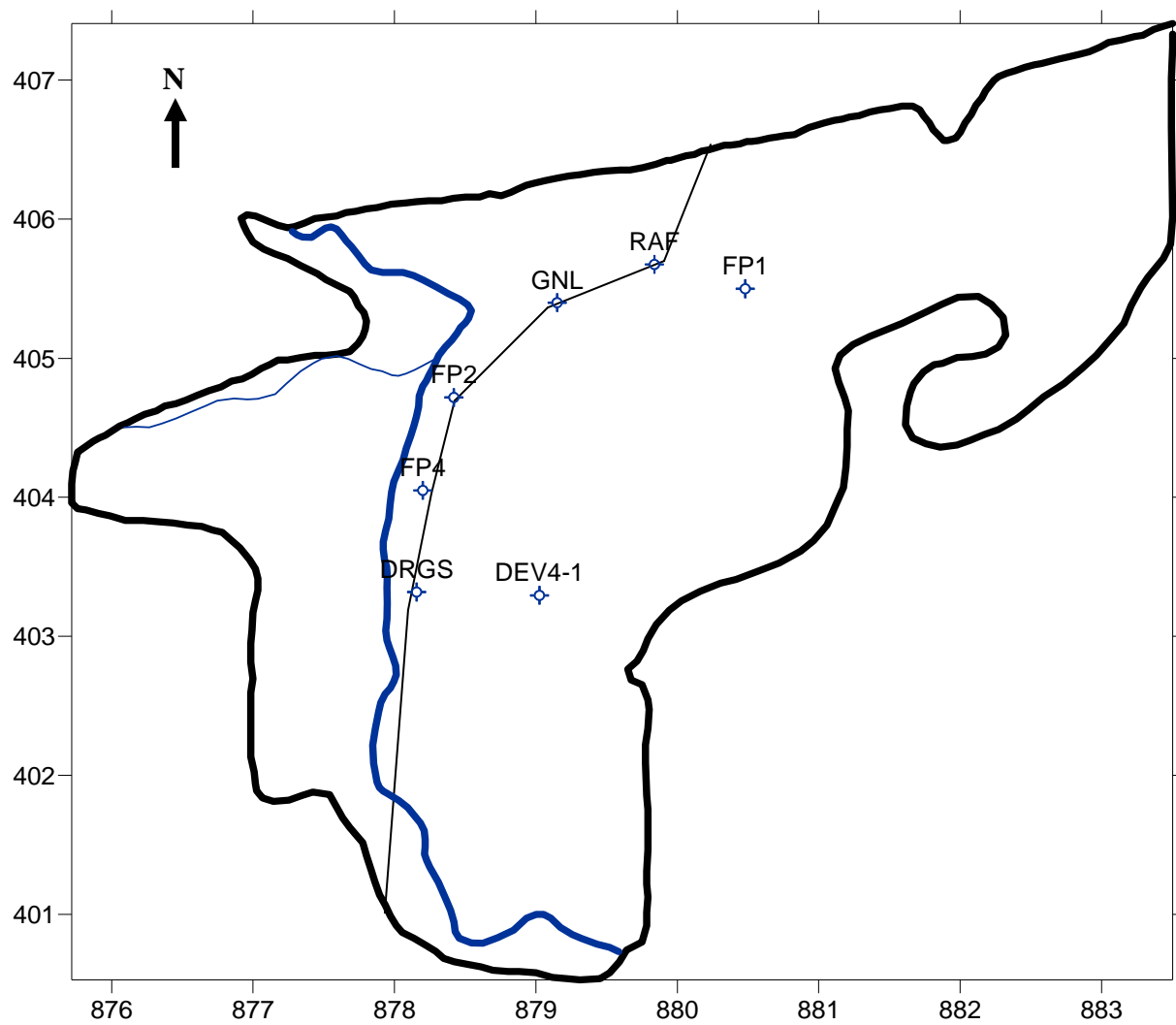
### **I-3-Coupe hydrogéologique**

Pour comprendre le système aquifère , une coupe hydrogéologique passant par la majeure partie des forages existants a été réalisée à partir des colonnes stratigraphiques des nouveaux forages (2005) et des sondages carrotés, réalisés par le laboratoire national de l'habitat et de la construction (LNHC).

Cette coupe orientée Nord-Est, Sud-Oest montre que le système aquifère de la plaine de SKIKDA est constitué essentiellement de deux nappes d'importance inégale, l'une superficielle constituée du sable dunaire au Nord, par contre plus au Sud sa lithologie est formée d'alluvions récentes composées de sable argileux et de quelques lentilles de sables, avec des passages de quelques couches limono-argileuses. Son épaisseur est de l'ordre 30 m au Nord et d'environ 12 m au Sud.

L'autre nappe, plus profonde, constituée essentiellement de graviers et de sables fin ou grossier. Son épaisseur varie de 18 à 35 m environ. Cette nappe repose sur un substratum imperméable marneux.

Les deux nappes sont séparées par une couche épaisse plus ou moins imperméable composée de marne et dont l'épaisseur varie de 10 m au Nord et 40 m au Sud.

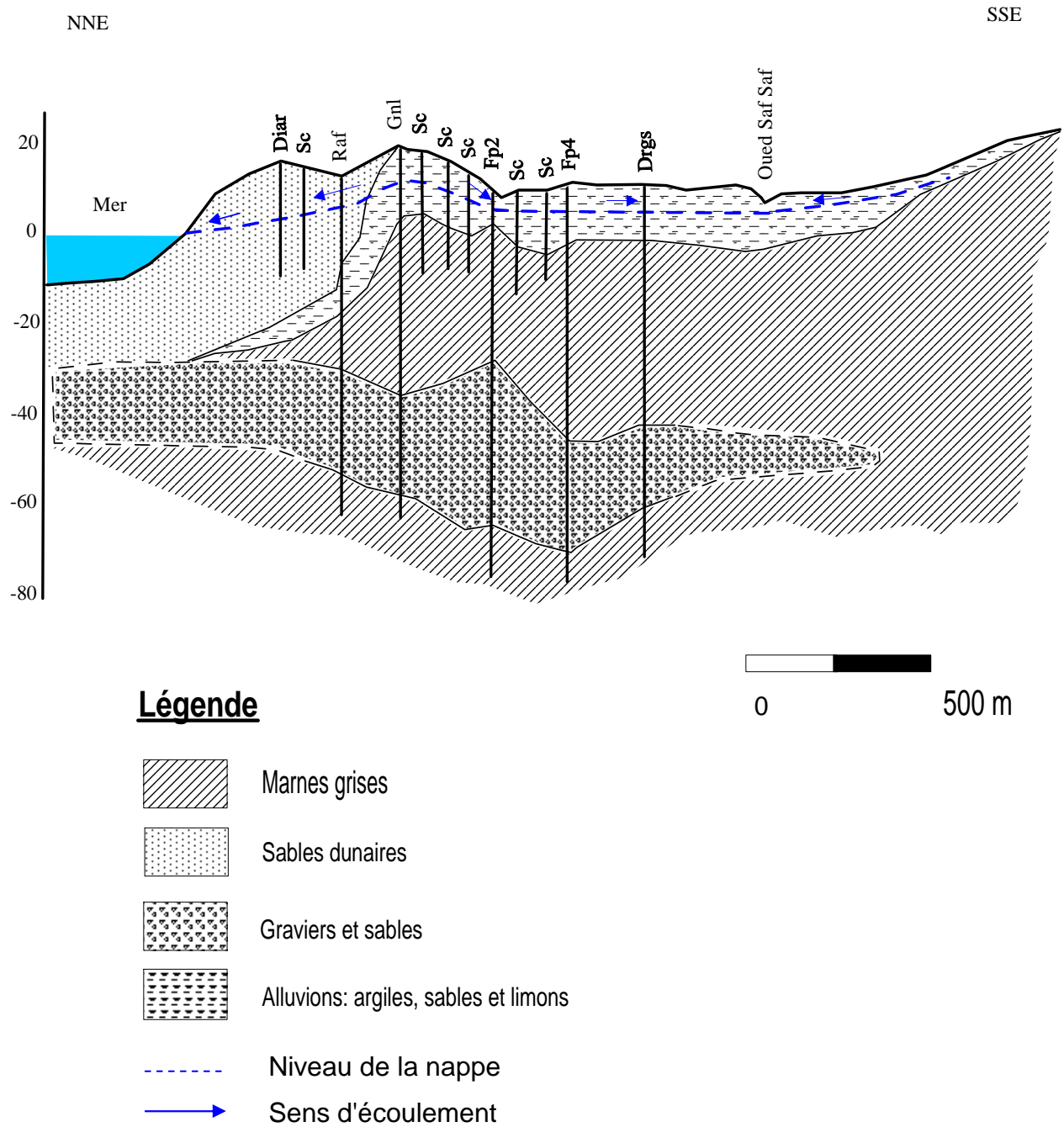


**Légende**

◆ Forage

**Fig n°9 : Carte du profil de la coupe hydrogéologique**

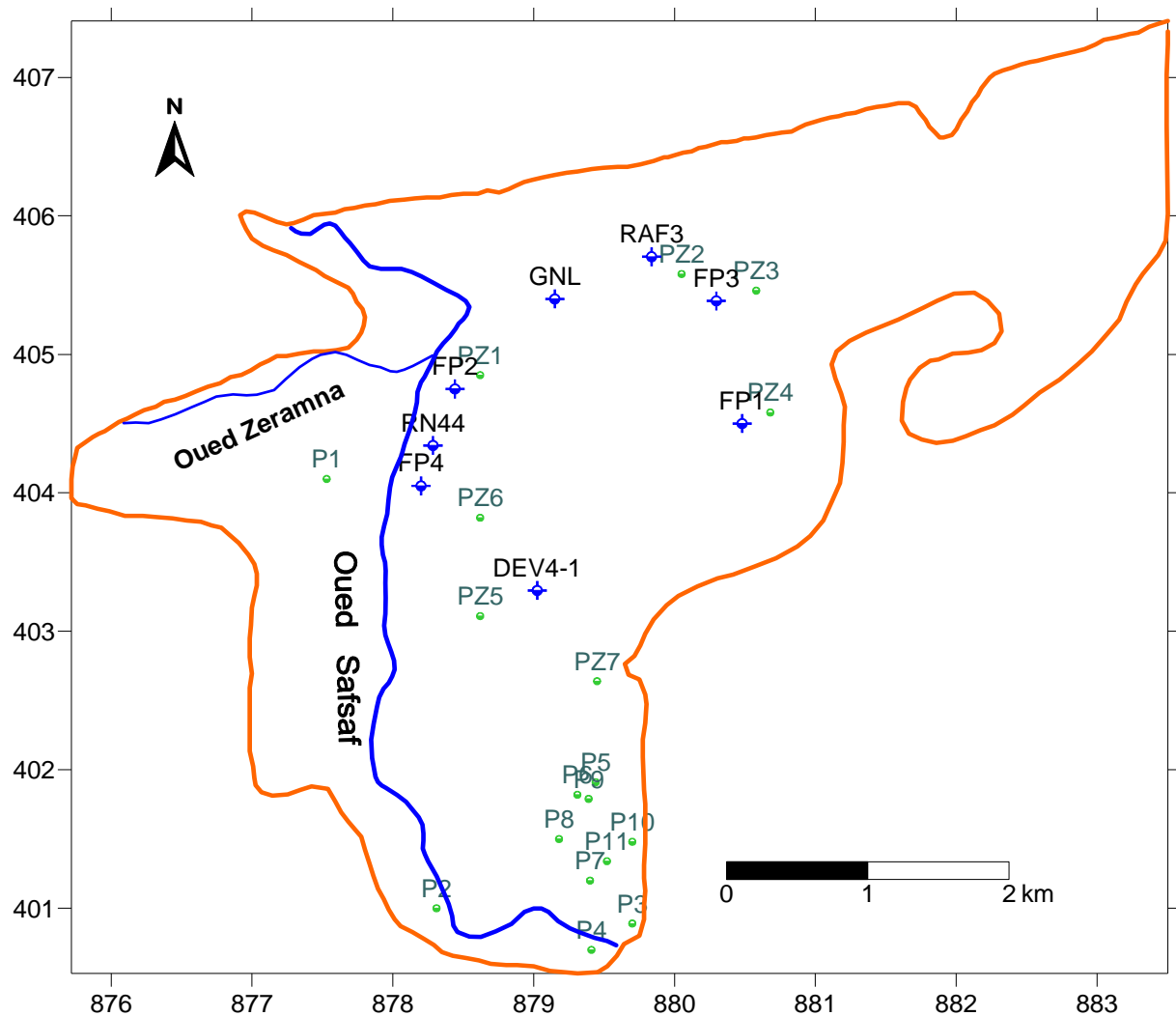




**Fig n°10 : Coupe hydrogéologique dans la plaine de SKIKDA**

## II- Etude de l'écoulement du système aquifère

Afin de représenter la configuration de l'aquifère et visualiser la direction d'écoulement et la profondeur du niveau d'eau dans le sol, deux campagnes piézométriques ont été effectuées au mois de mai 2005, l'une concerne la nappe superficielle représentée par des puits domestiques et des piézomètres, et l'autre pour la nappe profonde représentée par des forages au niveau de la plaine de SKIKDA. Ces deux campagnes ont permis d'établir deux cartes piézométriques.



### Légende

- ◆ Forage
- Puits

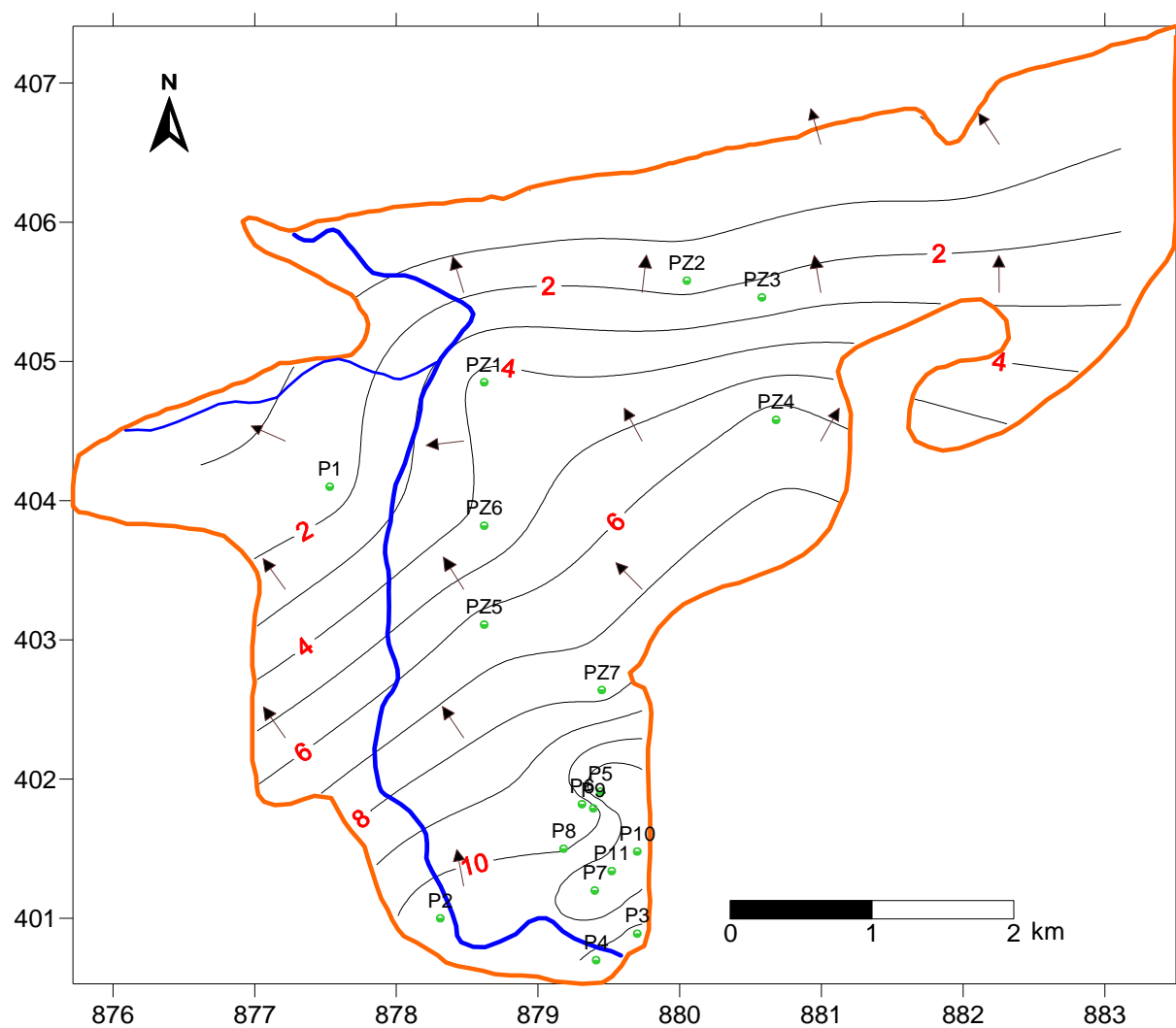
**Fig n°11 : Carte d'inventaire des points d'eau dans la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

## **II-1- Carte piézométrique de la nappe superficielle**

D'une façon générale l'écoulement de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA au mois de Mai 2005 est de direction Sud-Nord dirigeant vers la mer, et de direction Sud-Est Nord-Ouest dans la partie Ouest de la plaine, où il se dirige vers l'oued Safsaf et oued Zeramna indiquant que la nappe alimente les deux oueds, puisque c'est la période des hautes eaux.

## **II-2- Carte piézométrique de la nappe profonde**

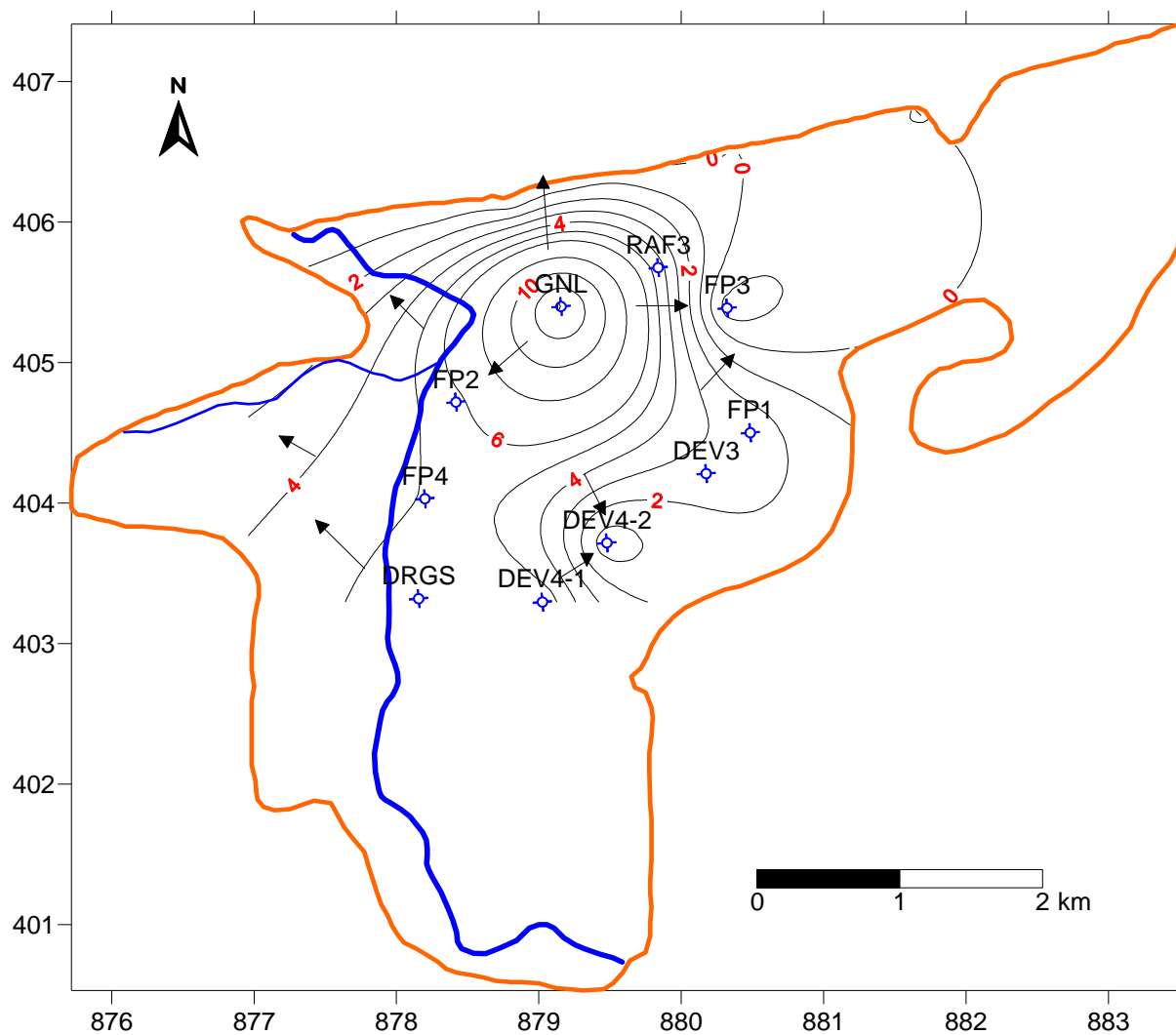
La carte piézométrique de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA montre deux zones de convergence formant des dépressions piézométriques au niveau des forages FP3 et DEV4-2, où les courbes sont serrées indiquant que le gradient hydraulique est fort. Une zone de divergence est observée autour du forage GNL due au soulèvement du substratum. Dans la partie Ouest, l'écoulement est de direction Nord Ouest dirigeant vers les deux oueds.



### Légende

- ◆ Forage
- Puits

**Fig n°12 : Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine de SKIDA (Mai 2005)**



### Légende

◆ Forage

● Puits

**Fig n°13 : Carte piézométrique de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

### III- Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère ont été calculés par BOULAROUG et BENREDJEM (2006), à l'aide des essais par pompage réalisés dans les forages GNL et FP4. Le tableau ci-dessous résume les résultats de calcul des paramètres hydrodynamiques des deux forages.

**Tableau n°9 : Inventaire des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère côtier de SKIKDA**

Paramètres	FP4 descente	FP4 remonté	GNL
X	878.2	878.2	878.15
Y	404.05	404.05	405.4
Date	26/06/2005	---	22/05/2005
Durée de pompage	48 heures	---	20 heures
Débit de pompage (L/s)	20	---	10
T (m <sup>2</sup> /s) . 10 <sup>-3</sup>	1.44	6.75	2.93
E (m)	11	11	19
K (m/s) . 10 <sup>-4</sup>	1.3	6.13	2.08

### Conclusion :

Le système aquifère de la zone côtière de SKIKDA est constitué de deux aquifères, l'un est profond et captif et l'autre est superficiel et libre. Ce système se présente comme suit :

La nappe du cordon dunaire, limitée sur une bande littorale de sables dunaires, d'une épaisseur de 35 m environ. Elle est alimentée directement par les eaux des pluies efficaces.

La nappe des alluvions récentes à texture argilo sableuse, argilo limoneuse ou sablo argileuse, avec quelques lentilles de sables. Cette nappe est de faible épaisseur de l'ordre 12m. L'aquifère profond est constitué de graviers hétérogènes et de sables fins à grossier. L'épaisseur de cet aquifère varie de 18 à 35 m, où son toit est imperméable composé de marnes grises compactes, ou semi- perméable, formé de marnes graveleuses ou de marnes sableuses.

L'alimentation de cet aquifère se fait à partir des pluies abondantes de la saison humide.

L'écoulement des eaux souterraines se fait du Sud vers le Nord et de l'Est vers l'Ouest pour la nappe superficielle. Par contre dans la nappe profonde, il est de direction Nord Ouest et Nord Est. La transmissivité moyenne de l'aquifère côtier de SKIKDA est de l'ordre de  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et la perméabilité est de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s.

# CHAPITRE IV

## Hydrochimie

---

*La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou à d'autres usages (pour l'irrigation ou l'industrie).*



## I- Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages tels que pour l'irrigation et les produits industriels.

Trois campagnes de mesure ont été effectuées, une sur les eaux de l'oued Safsaf et celles de la nappe superficielle à travers les puits domestiques en Mai 2005, et deux campagnes effectuées par l' ANRH de Constantine en Juin 2002 et Août 2005.

La fiabilité des analyses chimiques a été contrôlée à l'aide de la balance ionique (bi) exprimée par la formule de G. Castany, 1962 est représentée de la manière suivante :

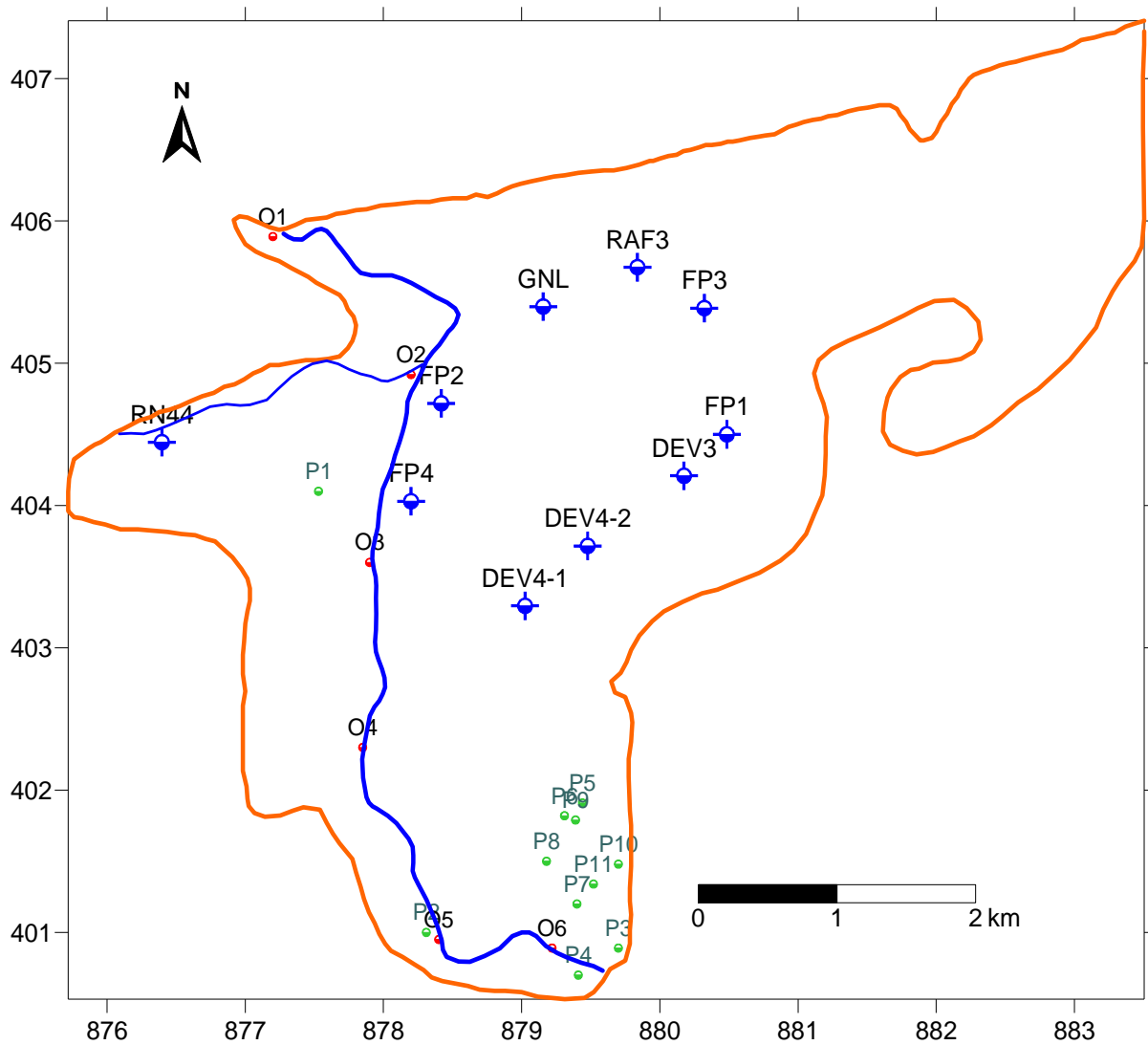
$$\mathbf{bi = [ Somme\ anions - Somme\ cations / Somme\ anions + Somme\ cations ] \times 100\% .}$$

Les analyses pour lesquelles le bi est supérieur à 6% ne seront pas une priorité pour nos interprétations. Ces analyses ont pour but de déterminer le faciès chimique, effectuer des comparaisons spatio-temporelles et mettre en évidence les différents éléments pouvant jouer un rôle primordial dans leurs répartitions et par conséquent d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques.

Les paramètres physiques mesurés sont : pH, conductivité électrique et la température ;

Pour les paramètres chimiques on cite :

- Les cations : Ca, Mg, K, Na.
- Les anions: HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl.



### Légende

◆ Forage

● Puits

**Fig n° 14 : Carte d'inventaire des points de prélèvement dans la plaine de SKIKDA**

## II- Interprétation des résultats :

### II-1- Les eaux superficielles et celles de la nappe superficielle

#### II-1-a- Paramètres physiques

**II-1-a-1-La température :** La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux ; elle joue un rôle très important dans la solubilité des minéraux. La température prélevée des puits varie de 18°C à 23°C, celle des eaux de l'oued Safsaf est autour de 23°C.

**II-1-a-2- Le pH :** Le pH mesuré dans la région d'étude varie entre 6.6 et 8.3 pour les eaux de la nappe superficielle, et autour de 7 pour les eaux de l'oued Safsaf.

**II-1-a-3- La conductivité :** Pour la plaine de SKIKDA, les eaux de la nappe superficielle montrent des valeurs allant de 313.03 (P3) à 1636.83  $\mu\text{s/cm}$  au (P1) à proximité de la mer. Pour les eaux de l'oued Safsaf les valeurs augmentent du Sud vers le Nord en s'approchant de la mer, elles varient de 1006 à 10000  $\mu\text{s/cm}$ .

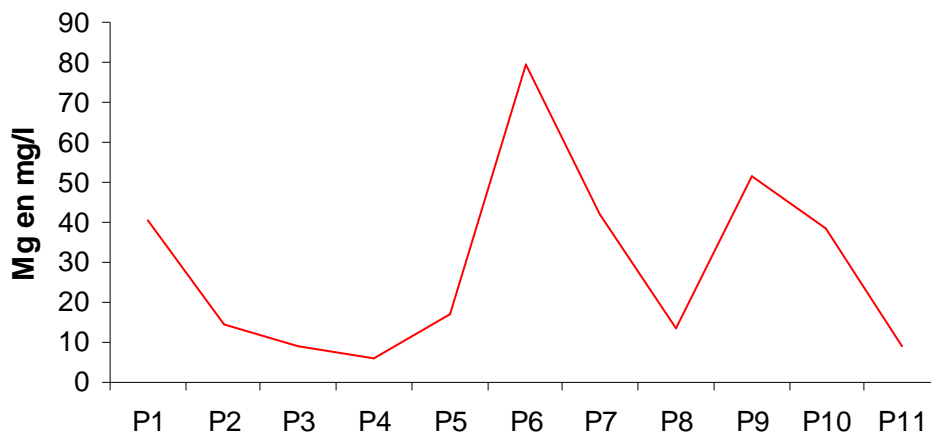
#### II-1-b- Les paramètres chimiques :

**II-1-b-1- Le calcium :** Les eaux de la nappe superficielle ont des teneurs en Ca qui varient de 31.26 mg/l (P3) à 171.54 mg/l (P10). Les eaux de surface montrent des valeurs qui augmentent du Sud vers le Nord en s'approchant de l'embouchure pour atteindre une maximale de 346.30 mg/l. Ces teneurs résultent de la dissolution des roches carbonatées et l'influence de la mer.



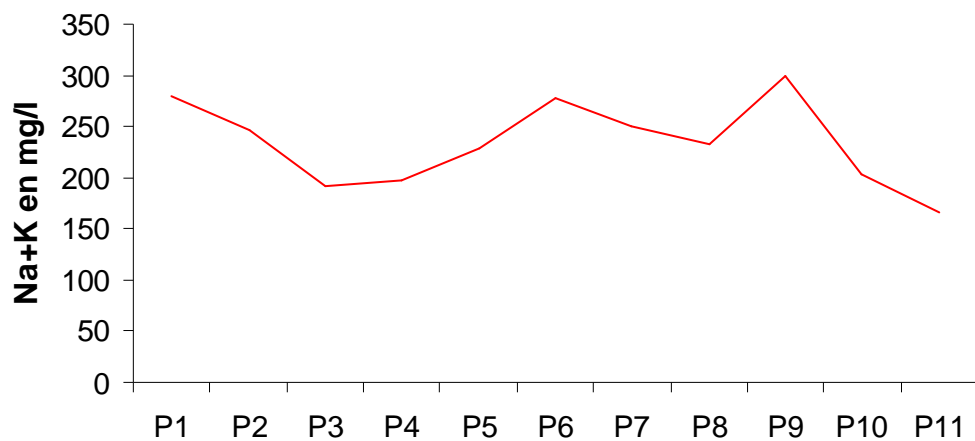
**Fig n°15 : Variation de la teneur en Ca dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

**II-1-b-2- Le magnésium :** Les valeurs dosées dans les puits varient entre 6.12 à 79.68 mg/l, elles montrent une augmentation du Sud vers le Nord. Dans l'oued Safsaf les valeurs augmentent en se dirigeant vers la mer où la valeur maximale est de 119.6 mg/l. Le Mg résulte de la dissolution des roches carbonatées (dolomie) ou des sulfates de magnésium.



**Fig n°16 : Variation de la teneur en Mg dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

**II-1-b-3- Le sodium :** La majorité des points d'eau de la plaine de SKIKDA ont des teneurs élevées en Na, elles varient de 166.06 à 299.69 mg/l pour la nappe superficielle et de 155.58 à 998.24 mg/l pour les eaux de l'oued Safsaf. Ceci est due à la nature lithologique des terrains traversés (argile et roches métamorphiques) et à l'influence marine.



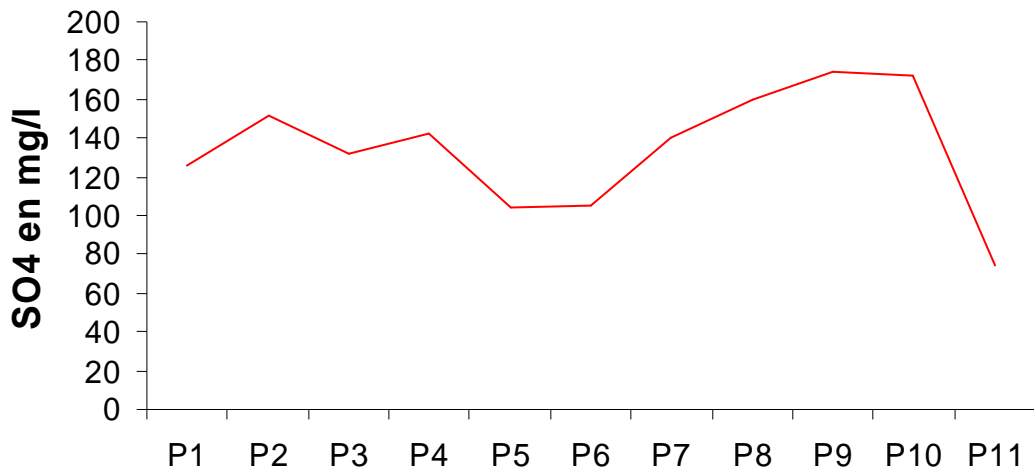
**Fig n°17: Variation de la teneur en Na +K dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

**II-1-b-4- Les chlorures :** Les concentrations en  $\text{Cl}^-$  sont un peu élevées, elles sont comprises entre 188.15 mg/l (P4) et 277 mg/l (P1) pour les eaux des puits, et de 248.50 à 323 mg/l pour les eaux de l'oued Safsaf. Ces teneurs sont dues au lessivage des formations salifères, aux rejets du complexe de Sonatrach au Nord et l'influence de la mer.



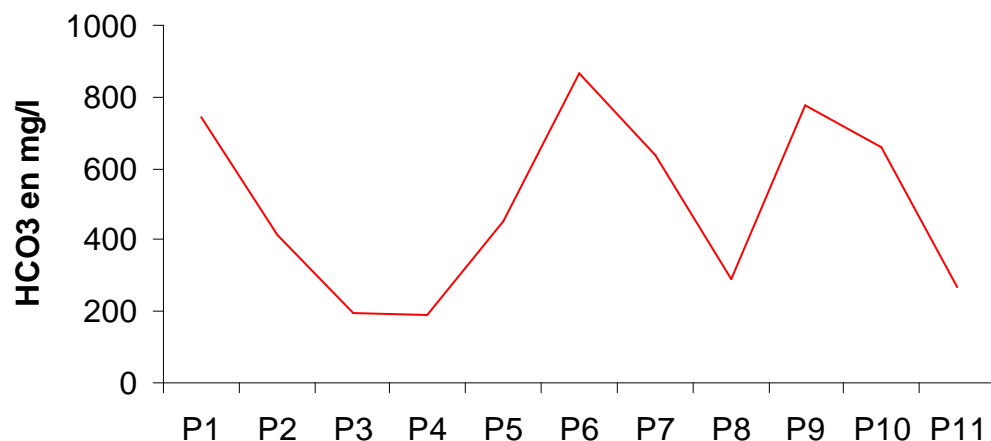
**Fig n°18 : variation de la teneur en  $\text{Cl}^-$  dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

**II-1-b-5- Les sulfates :** Les valeurs dosées dans les eaux de la plaine de SKIKDA augmentent en allant vers le Nord, mais elles ne dépassent pas les normes (250 mg/l) pour les eaux des puits. Elles sont dues aux rejets riches en H<sub>2</sub>S du complexe de Sonatrach au Nord et l'influence marine.



**Fig n°19 : Variation de la teneur en SO<sub>4</sub> dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

**II-1-b-6- Les bicarbonates :** Dans la plaine de SKIKDA, les valeurs dosées dans les eaux des puits sont comprises entre 187.88mg/l (P4) et 868.64 mg/l au P6. Pour les eaux de l'oued Safsaf les valeurs varient de 211 à 396 mg/l . Les valeurs les plus élevées sont observées dans la partie Sud-Est de la plaine, cela peut être expliqué par l'existence des formations carbonatées.



**Fig n°20 : Variation de la teneur en HCO<sub>3</sub> dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

## II-2- Les eaux de la nappe profonde :

### II-2-a- Paramètres physiques :

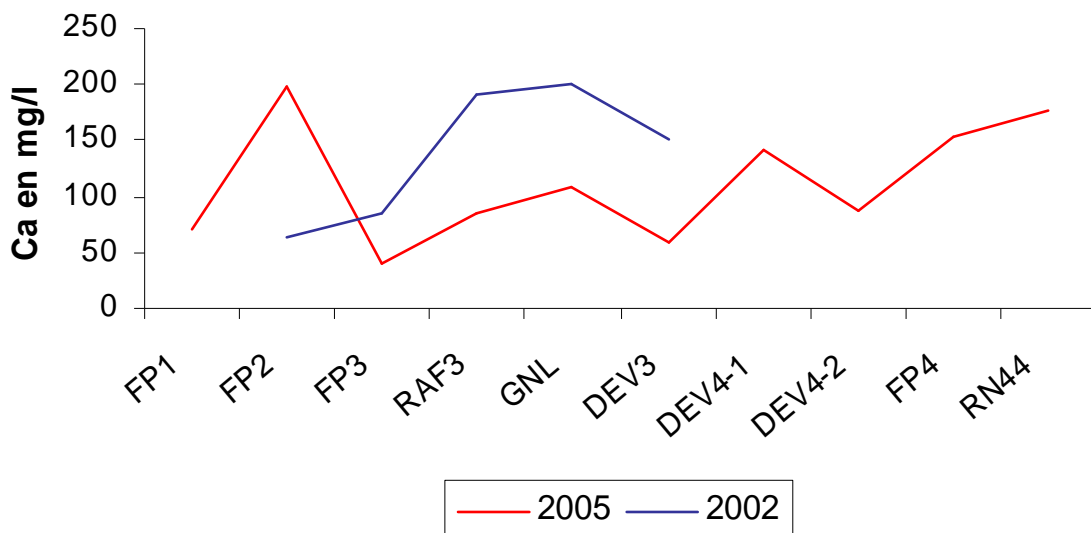
**II-2-a-1- La température :** Les mesures de la température de l'eau de la nappe profonde en Août 2005 donnent des valeurs de l'ordre de 23°C. Elles sont plus élevées au Nord qu'au Sud.

**II-2-a-2- La conductivité :** Les résultats obtenus montrent que les eaux des forages sont généralement chargées de sels dissous où les valeurs de la conductivité varient de 1500 à 4600  $\mu\text{s/cm}$  pour l'année 2002, et de 900 à 5100  $\mu\text{s/cm}$  pour l'année 2005, elles deviennent plus importantes vers l'Oued. Les valeurs sont légèrement élevées au Nord – Ouest de la nappe (forage Fp<sub>2</sub> et forage GNL).

**II-2-a-3- Le pH :** Dans notre secteur d'étude les valeurs du pH mesurées dans les forages sont généralement autour de 7.

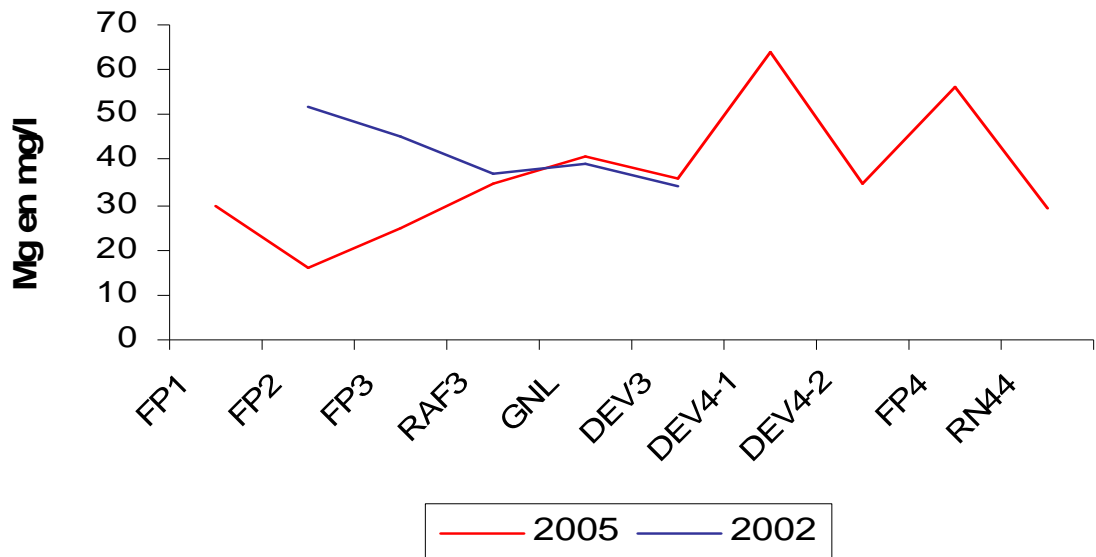
### II-2-b- Les paramètres chimiques :

**II-2-b-1- Le calcium :** Dans la plaine de SKIKDA, les valeurs du calcium dans les eaux des forages pour l'année 2002 sont élevées et croient plus en se dirigeant du Sud vers le Nord, elles sont comprises entre 60 et 200 mg/l. Pour l'année 2005, les valeurs du Ca varient de 40 à 198 mg/l, mais cette fois l'augmentation des concentrations se fait de l'Est vers l'Ouest, cela peut être dû à la nature lithologique (roches carbonatées).



**Fig n°21 : Variation de la teneur en Ca dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Août 2005)**

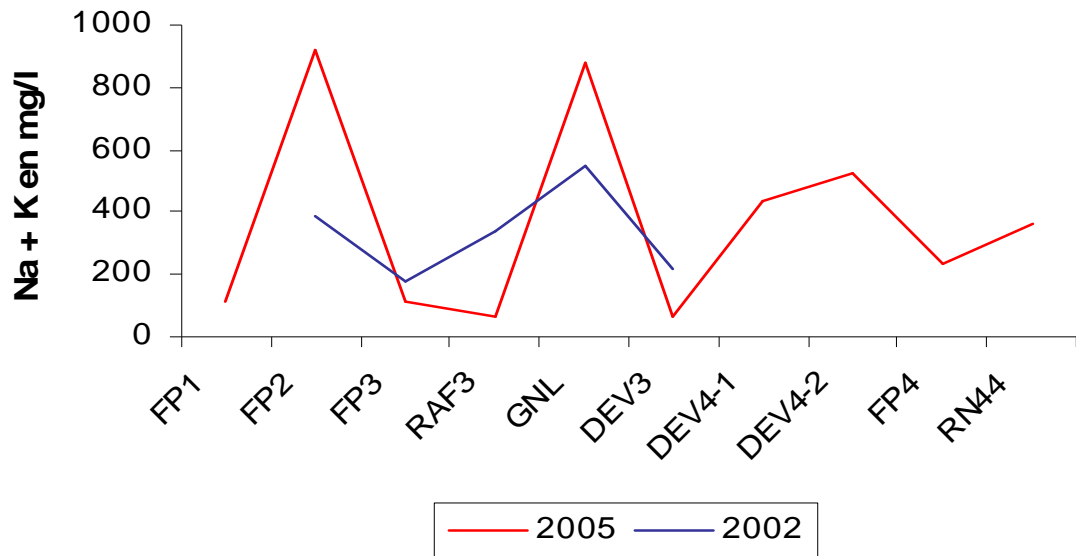
**II-2-b-2- Le magnésium :** Les concentrations du Mg pour l'année 2002 augmentent du Sud vers le Nord Ouest, elles varient de 34 à 52 mg/l. Alors que pour l'année 2005, les teneurs varient de 15 à 65 mg/l, elles dépassent un peu la valeur limite (50 mg/l).



**Fig n°22 : Variation de la teneur en Mg dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Août 2005)**

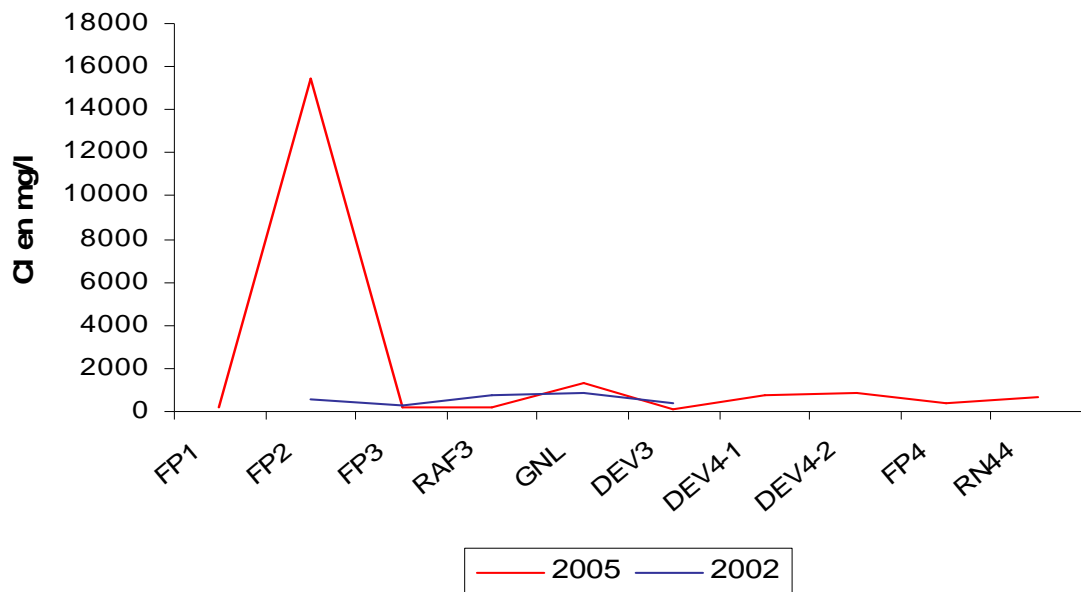
**II-2-b-3- Le sodium :** Les teneurs en Na pour les deux années dépassent les valeurs limites (100 mg/l), elles sont comprises entre 180 et 550 mg/l pour l'année 2002, et de 68 à 920 mg/l pour l'année 2005, elles augmentent de l'Est vers l'Ouest. Les valeurs les plus fortes sont observées dans la partie Nord Ouest, ceci peut être dû à l'invasion marine.





**Fig n°23 : Variation de la teneur en Na +K dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA ( Juillet 2002, Mai 2005 )**

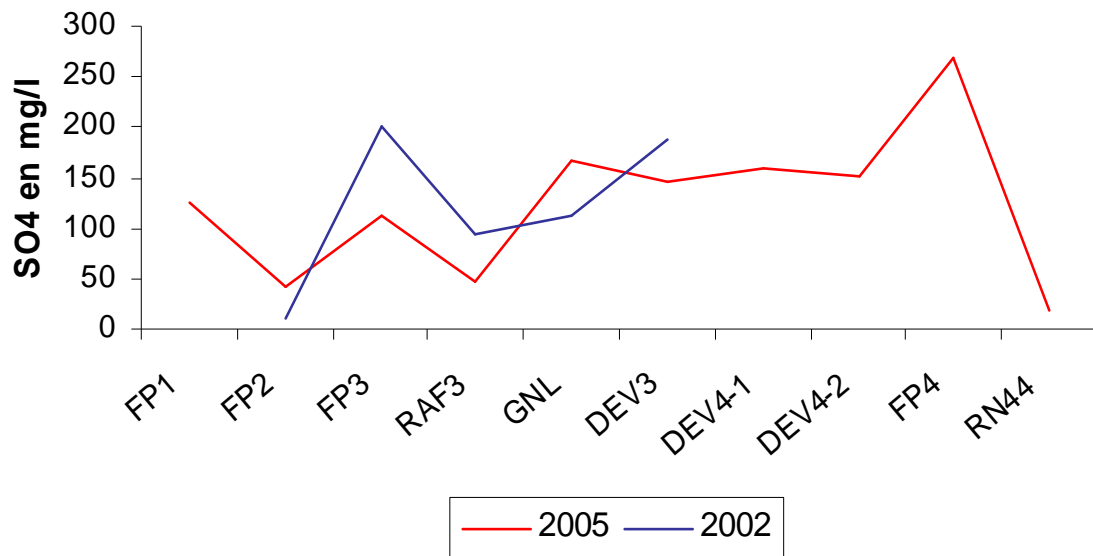
**II-2-b-4-Le chlorures :** Les teneurs en chlorures dans les eaux sont extrêmement élevées dépassant les normes limites (250 mg/l).Elles augmentent en allant du Sud Est vers le Nord Ouest. Les valeurs varient de 237 à 852 mg/l pour l'année 2002, et de 137 à 1540 mg/l pour l'année 2005. Ces teneurs proviennent de la dissolution des sels naturels par le lessivage des formations salifère, les rejets de Sonatrach qui sont responsables d'un grand apport en chlorures , le complexe des matières plastiques GP1/K produit 35000 t/an de chlore et soude, et l'invasion marine influencée particulièrement sur la partie Nord Ouest.



**Fig n°24 : Variation de la teneur en Cl<sup>-</sup> dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005)**

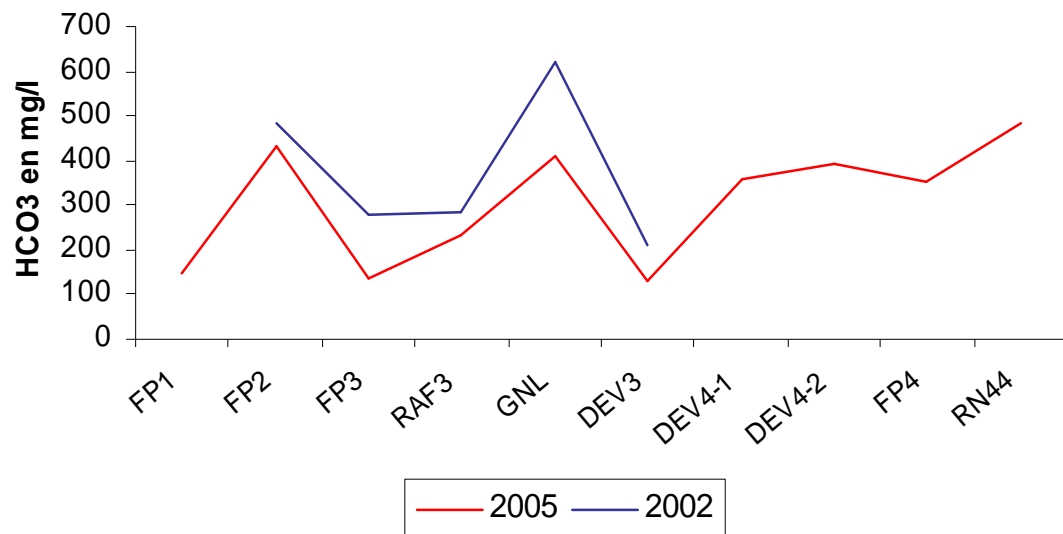
**II-2-b-5- Les sulfates :** Les teneur en sulfate de l'année 2005 montre une évolution progressive dans la direction Nord Est vers Sud Ouest avec des valeurs acceptables sauf le Fp<sub>4</sub> (270 mg/l) , en ce qui concerne l'année 2002, les concentrations sont faibles,elles ne dépassent pas les normes (250mg/l) de l'Est vers l'Ouest.

En comparant les teneurs des deux années, on remarque une augmentation dans le temps, cela peut être due à l'augmentation des activités industrielles de Sonatrach qui ont causé l'élévation des rejets des eaux usées et à la combustion du charbon ou du pétrole ( en s'infiltrant et polluant la nappe profonde).



**Fig n°25 : Variation de la teneur en  $\text{SO}_4$  dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005)**

**II-2-b-6- Les bicarbonates :** Dans la zone d'étude, on remarque que la concentration des bicarbonates se fait progressivement d'Est en Ouest en dépassant les teneurs limites dans les deux années. Les teneurs sont généralement comprises entre 130 à 480 mg/l pour l'année 2005 et de 210 à 620 mg/l pour l'année 2002. Ces fortes concentrations peuvent être expliquées par la présence des roches carbonatées dans la zone d'étude.



**Fig n°26 : Variation de la teneur en HCO<sub>3</sub> dans les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005)**

### **III-Représentation graphique des résultats :**

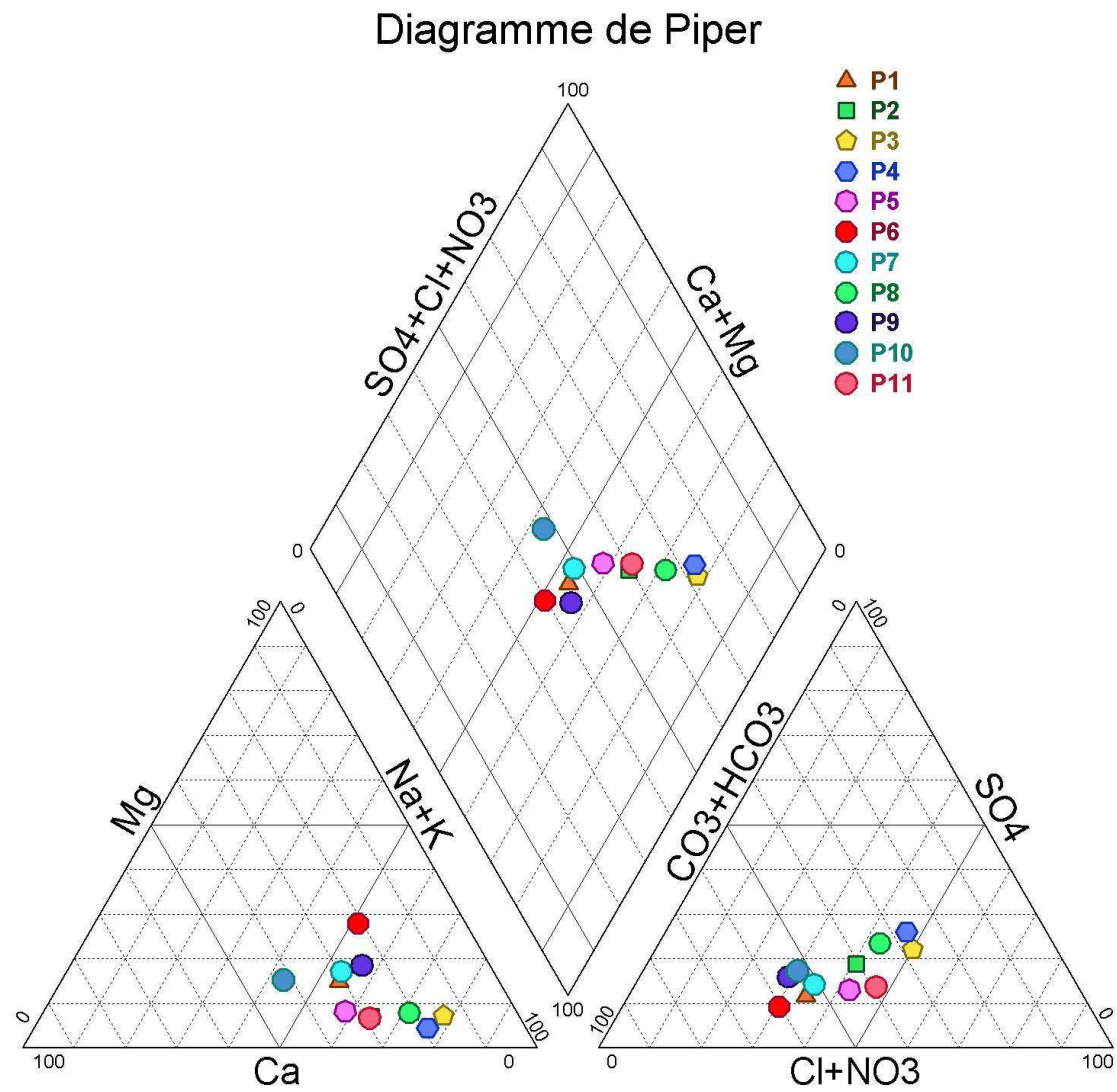
#### **III-1 – Diagramme de Piper :**

Le diagramme de piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations les échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments majeurs, mais de suivre également leur évolution dans le temps. La représentation des concentrations est exprimée en pourcentage.

**III-1 –a- La nappe superficielle :** La présentation des analyses sur le diagramme de Piper a permis de distinguer les faciès chimiques suivants:

**Tableau n°10: Représentation de Piper pour les eaux de la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

Faciès chimiques	Chloruré sodique	Bicarbonaté sodique	Bicarbonaté calcique
N° du puits	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , P <sub>8</sub> , P <sub>9</sub> , P <sub>11</sub> ,	P <sub>6</sub> , P <sub>7</sub>	P <sub>10</sub>



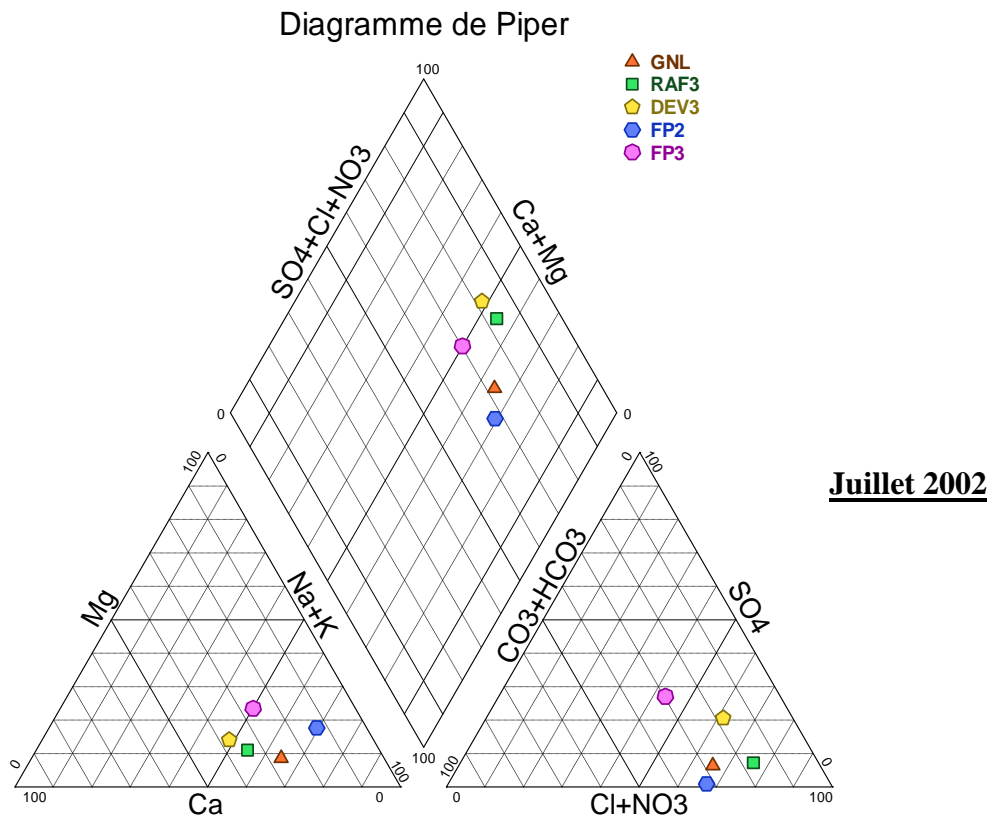
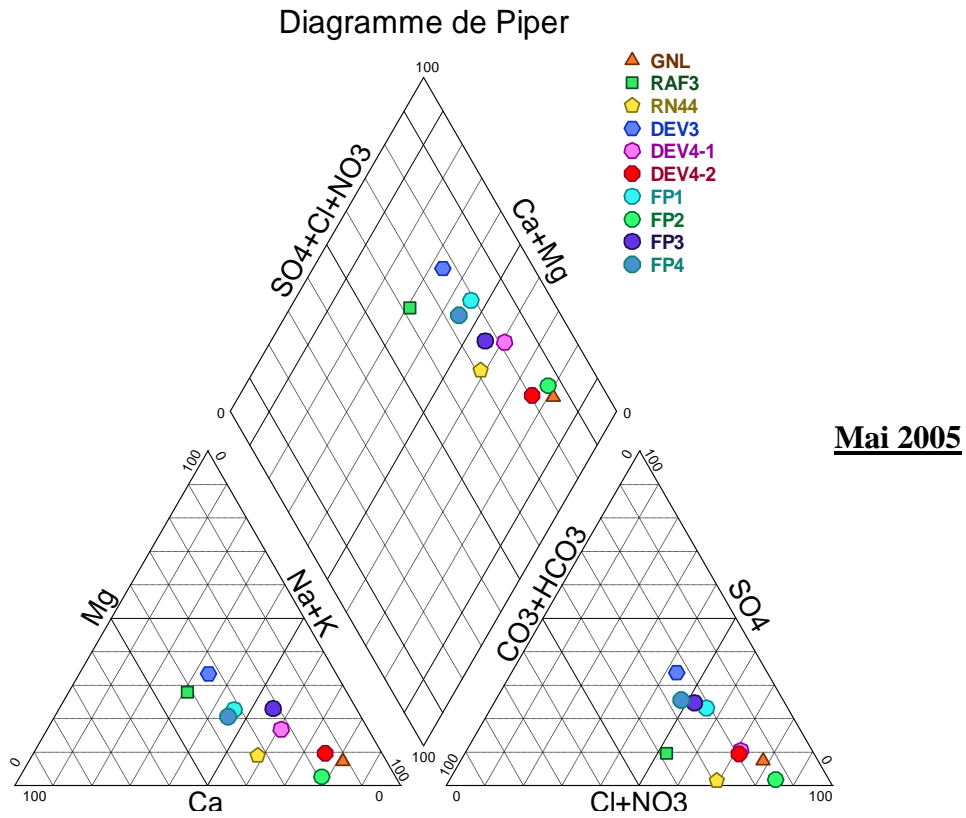
**Fig n °27 : Diagramme de Piper pour la nappe superficielle de la plaine de SKIKDA (Mai 2005)**

**III-1 –b- La nappe profonde :** Pour la nappe profonde les différents faciès chimiques sont représentés dans le tableau suivant

**Tableau n°11: Représentation de Piper pour les eaux de la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005)**

Faciès chimique	Chloruré sodique	Bicarbonaté sodique	Sulfaté sodique	Bicarbonaté calcique
2002	GNL, RN44,DEV4-1 DEV4-2, FP1, FP2, FP3, FP4		DEV3	RAF3
2005	GNL, RAF3, DEV3 FP1	FP3		

On remarque que le faciès chloruré sodique se domine dans les eaux de la nappe superficielle et celles de la nappe profonde. Cela est du à la nature des terrains traversés ( argile, formations salifères) , les rejets de Sonatrach riche en chlore et li'invasion marine surtout dans la partie Nord Ouest.



**Fig n°28: Diagramme de Piper pour la nappe profonde de la plaine de SKIKDA (Juillet 2002, Mai 2005)**

**Conclusion :**

La chimie de l'eau de la plaine de SKIKDA montre que les eaux souterraines (nappe superficielle et nappe profonde) possèdent des valeurs élevées de la conductivité, dues à l'existence de certains éléments chimiques par des concentration élevées ( $\text{HCO}_3$ , Cl, Na). Cet excès est du d'une part à une contamination naturelle par la dissolution des terrains traversées (roches carbonatées, formations salifères, argiles) ou à l'invasion marine surtout dans la partie Nord Ouest (Hedbani 2006), et d'autre part par une pollution due aux rejets du complexe du Sonatrach riches en chlore et soude qui sont déversés directement dans la plaine



# CHAPITRE

# V

## Vulnérabilité et risque de pollution

---

*L'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines a été abordée par plusieurs auteurs ( Albinet ,Margat ,1970, Rehesse, 1977) , en Algérie ,une nouvelle politique à été instaurée récemment, visant à protéger et sauvegarder les ressources en eaux dans leurs gisements avant qu'elles ne soient contaminées.*

## **1- Introduction :**

L'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines a été abordée par plusieurs auteurs ( Albinet ,Margat ,1970) , en Algérie ,une nouvelle politique à été instaurée récemment, visant à protéger et sauvegarder les ressources en eaux dans leurs gisements avant qu'elles ne soient contaminées, en effet , les techniques de décontamination des nappes polluées sont longues, coûteuses et incapables de restaurer pleinement la potabilité des eaux ( Mariotti ,1999) .

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.

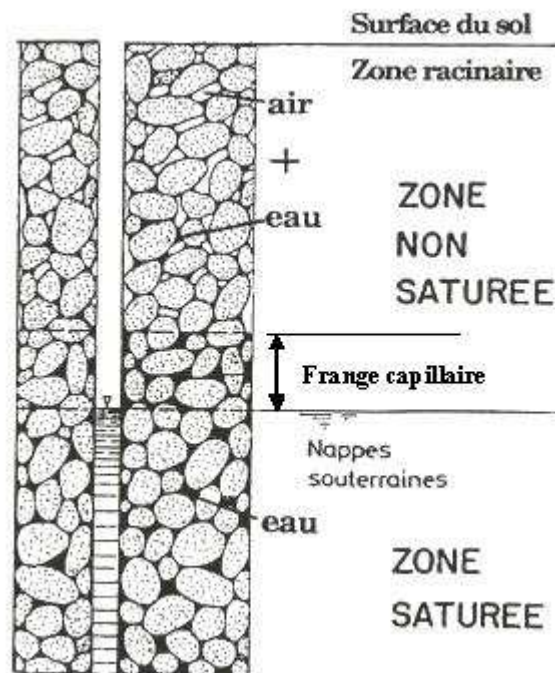
Les polluants d'origines superficielles peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piezométrique.

## **2- Réacteur Sol –Zone non saturée - Nappe.**

Les terrains qui recouvrent les zones aquifères constituent un réacteur qui contribue à épurer les eaux d'infiltration où de nombreux mécanismes physico-chimiques et biologiques s'y développent. Les eaux se chargent alors ou s'appauvrissent en certains éléments ( en fonction de terrains traversés) et modifient leurs qualités.

Dans le cas général, la coupe transversale d'un sol est la suivante :

- \*Une première couche organique de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur, est le siège d'activité biologique et physico-chimique intense.
- \*Une couche située juste au dessous et joue essentiellement un rôle de filtre : c'est la partie du sol exploitée par les racines et qui peut atteindre 2 m d'épaisseur environ.
- \*Une zone de transfert en milieu poreux non saturé où se développe le phénomène surtout biologique.
- \* Une frange de capillarité qui relie la zone non saturée à la zone saturée (uniquement dans le cas d'un aquifère à nappe libre).
- \* La nappe proprement dite dans laquelle les phénomènes de filtration et de dilution sont prépondérants.



**Fig n°29: Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée.**

### **3- Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection :**

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour le calcul de la migration dans le sol des substances indésirables et le pouvoir épurateur du sol.

L'écoulement est le vecteur principal de la migration des substances de la surface vers la nappe. La détermination de la zone d'appel et du temps de transfert permettant de définir la distance parcourue par un polluant pour atteindre le pompage.

Afin d'éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes, le calcul du pouvoir épurateur du sol (surtout de la zone non saturée) identifie la distance parcourue par le polluant avant d'atteindre la nappe.

W.REHESE a proposé en 1977 une méthode empirique pour l'évaluation du pouvoir épurateur des terrains, lors de transfert d'un polluant de la surface du sol jusqu'à la surface de la nappe par circulation verticale, puis en circulation horizontale au sein de la nappe. Le pouvoir épurateur permet de mettre en place des périmètres de protection.

Le périmètre de protection rapproché peut être défini en fonction des critères suivants :

- des caractéristiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain ;

- des débits d'exploitation maximum des forages ;
- de l'autoépuration des sols.

Toute fois, REHESE considère que l'épuration est variable selon les milieux traversés et proportionnelle à la distance parcourue.

Les différentes catégories de sol pouvant être rencontrées ont été classées en fonction de la granulométrie. L'auteur a défini les épaisseurs de sol nécessaire, en condition non saturée, pour une épuration des eaux polluées. De même pour quatre (04) catégories de constituants de l'aquifère ; il détermine une longueur de trajet, en fonction de la vitesse effective nécessaire pour compléter cette épuration.

Chaque catégorie de matériau est affectée d'un index.

$i = 1/H$  avec :  $i$  : indice de terrain ;

$H$  : épaisseur en mètre du terrain nécessaire pour une autoépuration.

Le pouvoir épurateur du terrain est calculé par la formule :

$$M_x = (M_d + M_r)$$

$M_x$  : pouvoir épurateur sur la totalité du terrain.

$M_d$  : pouvoir épurateur sur le trajet vertical (zone non saturée de la nappe).

$M_r$  : pouvoir épurateur sur le trajet horizontal (zone saturée de la nappe).

L'épuration est total pour  $M_x = 1$ .

$$M_d = h_1 i_1 + h_2 i_2 + h_3 i_3 + \dots + h_n i_n \quad \text{d'où :}$$

$h_1, h_2, \dots, h_n$  : épaisseur des différentes catégories des terrains traversés.

\* Si  $M_d > 1$  : cela signifie que l'épuration est totale dans les couches de couverture, et que le périmètre de protection rapproché n'est pas nécessaire à calculer selon REHESE .

\* Si  $M_d < 1$  : cela signifie que la dépollution n'est pas totale, elle doit se poursuivre dans l'aquifère lors du transfert horizontal.

Soit  $M_r = 1 - M_d$  d'où

$M_r$  : le pouvoir épurateur dans l'aquifère.

La distance  $L$  à parcourir horizontalement pour une épuration totale sera :

$$L = M_r / I_a$$

$I_a$  : index correspondant au milieu aquifère.

$L$  : correspondant à la limite de la zone de protection rapprochée.

S'il n'existe pas de couverture, toute l'épuration doit se faire horizontalement ;  $M_r$  doit être égale à 1.

$L = 1 / I_a$  terrain sans couverture.

$$L = (1 - M_d) / I_a ;$$

$I_a$  : dépend de la vitesse réelle de la nappe.

Selon la formule de Darcy : la vitesse  $V = Q/S = K.I$  ( m/j) .

La vitesses réelle =  $K.I/m_e$  (m/j) .

Pour une nappe libre  $m_e$  = Coefficient d'emménagement ou porosité efficace.

\* une fois la vitesse déterminée on détermine  $I_a$  donc L.

Pour le calcul du pouvoir épurateur du sol (sable) de la région dans la zone de couverture on utilise un indice  $i = 0.17$  et dans la zone aquifère (zone saturée) l'index  $I_a$  varie de 0.007 à 0.0045 en fonction de la vitesse effective selon les tableaux de REHESE ,1977 (*Annexe*), les résultats des mesures sont reportées dans le tableau n°12.

**Tableau n°12: Résultat des calculs du pouvoir épurateur du sol de la plaine  
de SKIKDA**

Forage et puits	H zone non saturée (m)	Md	Mr	K moy m/s.10 <sup>-4</sup>	Le gradient i . 10 <sup>-3</sup>	Vitesse effective m/j	I <sub>a</sub>	La limite L (m)
<b>GNL</b>	3.12	0.53	0.47	3.17	9	0.246	0.01	47
<b>FP1</b>	3.30	0.56	0.44	3.17	1.8	0.049	0.01	44
<b>DEV3</b>	5.70	0.97	0.03	3.17	1.5	0.041	0.01	3
<b>RAF3</b>	8.29	1.70	/	3.17	12	/	/	/
<b>FP2</b>	3.20	0.54	0.46	3.17	3	0.081	0.01	46
<b>FP3</b>	5.80	0.98	0.02	3.17	9	0.0246	0.01	2
<b>DEV4-1</b>	5.45	0.92	0.08	3.17	9	0.246	0.01	8
<b>FP4</b>	5.62	0.95	0.05	3.17	1.38	0.037	0.01	5
<b>DEV4-2</b>	4.00	0.68	0.32	3.17	18	0.492	0.01	32
<b>DRGS</b>	5.20	0.88	0.12	3.17	1.30	0.035	0.01	12
<b>P1</b>	4.10	0.69	0.31	3.17	1.38	0.037	0.01	31
<b>P2</b>	1.20	0.20	0.80	3.17	3	0.081	0.01	80
<b>P3</b>	4.10	0.69	0.31	3.17	6	0.164	0.01	31
<b>P4</b>	5.20	0.88	0.12	3.17	6	0.164	0.01	12
<b>P5</b>	2.10	0.35	0.65	3.17	18	0.492	0.01	65
<b>P6</b>	1.80	0.30	0.70	3.17	18	0.492	0.01	70
<b>P7</b>	2.20	0.37	0.63	3.17	3.6	0.098	0.01	63
<b>P8</b>	1.90	0.32	0.68	3.17	6	0.164	0.01	68
<b>P9</b>	1.90	0.32	0.68	3.17	1.8	0.049	0.01	68
<b>P10</b>	2.20	0.37	0.63	3.17	3.6	0.098	0.01	63
<b>P11</b>	2.10	0.35	0.65	3.17	3.6	0.098	0.01	65

## **4- La zone non saturée :**

### **4-1-Introduction :**

La zone non saturée (zone vadose), comme le sol, elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est plus faible. et que la protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais que leur granulométrie est fine ,et la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible. Donc cette zone est importante pour la nappe souterraine puisque l'eau qui s'écoule doit s'infiltrer à travers cette zone pour se rendre à la zone de saturation, ainsi, l'étendue et la qualité de la nappe souterraine peuvent être affectées par l'état de la zone vadose dans une zone d'alimentation.

### **4-2-Carte de la zone non saturée :**

L'établissement de la carte de la hauteur de la zone vadose (H) (*Fig n°30*) est basé sur les données des niveaux piézométriques (Hp) les plus pessimistes que possible durant une période de 11 ans (1995-2006) sur une vingtaine d'ouvrages (forages et puits) destinés à l'alimentation en eau potable ou à l'industrie et le niveau du sol ( Z) sur la totalité de la plaine de SKIKDA.

La zone non saturée est donc mesurée par la différence entre l'altitude du sol Z et la profondeur du niveau de la nappe.

Les résultats de calcul sont reportés dans le tableau n°13

D'après ce dernier les valeurs de H oscillent entre 1.20 m et 8.29 m .Ces valeurs obtenues ont permis d'identifier trois classes :

$H < 4$  m : **classe A.**

$4 < H < 8$  m : **classe B.**

$H > 8$  m : **classe C.**

**Tableau n°13 : Epaisseur de la zone non saturée de la plaine de SKIKDA**  
**(Mai 2005)**

<b>Forage et puits</b>	<b>Z (m)</b>	<b>Hp (m)</b>	<b>H de la zone non saturée (m)</b>
GNL	17.67	14.55	3.12
FP1	6.09	2.79	3.30
DEV3	8.22	2.52	5.70
RAF3	12.80	4.51	8.29
FP2	8.53	5.33	3.20
FP3	4.26	-1.54	5.80
DEV4-1	11.27	5.82	5.45
FP4	10.66	5.04	5.62
DEV4-2	4.26	0.26	4.00
DRGS	10.66	5.46	5.20
P1	5.60	1.50	4.10
P2	12.00	10.80	1.20
P3	13.75	8.65	4.10
P4	15.00	9.80	5.20
P5	14.40	12.30	2.10
P6	11.30	9.50	1.80
P7	14.40	12.20	2.20
P8	11.80	9.90	1.90
P9	11.30	9.40	1.90
P10	13.70	11.5	2.20
P11	13.40	11.3	2.10



**\*Classe A :**

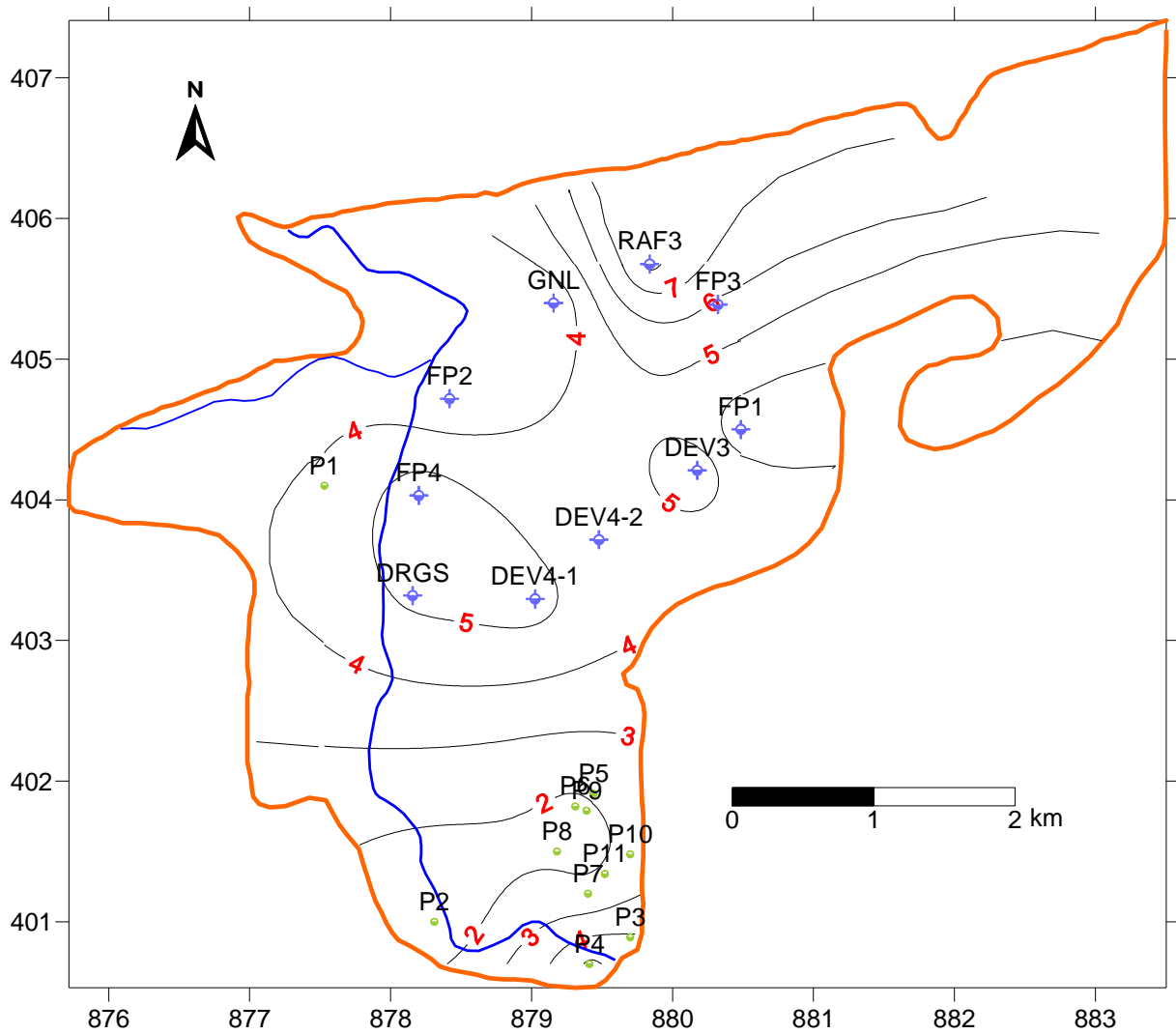
Elle correspond à la partie Nord -Ouest et Sud de la plaine de SKIKDA principalement au alentour des forages FP1 et GNL et autour des puits P2, P5, P6, P7, P8, P9, P10 et P11, où la profondeur du niveau piézométrique est relativement faible moins de 4 m.

**\*Classe B :**

Elle occupe la partie centrale de la plaine de SKIKDA, où le niveau piézométrique reste assez proche de la surface du sol comprise entre 4 et 8 m.

**\*Classe C :**

Cette zone est localisée principalement dans la partie Nord-Est de la plaine de SKIKDA, l'épaisseur de la zone non saturée est plus de 8 m, cette profondeur du niveau piézométrique favorise l'autoépuration d'éventuels contaminants.



**Légende**

- ◆ Forage
- Puits

**Fig n°30 : Carte d'épaisseur de la zone non saturée dans la plaine de SKIKDA ( Mai 2005)**

## **5- La vulnérabilité de la nappe à la pollution :**

### **5-1-Identification des facteurs de la vulnérabilité :**

La vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution est conditionnée par plusieurs facteurs. Dans notre étude nous avons identifié des facteurs jugés importants parmi lesquels :

**5-1-1-La pente** : la couverture de la pente est identifiée par la carte topographique de SKIKDA 1/50000.

**5-1-2-L'épaisseur de la zone non saturée** : réalisée à partir de croisement de la carte topographique (1/50.000) avec celle de la piézométrie sur une période de 11 ans

**5-1-3-L'occupation du sol** : générée à partir des sources de pollution identifiées dans la région .

**5-1-4-La densité de population** : réalisée à partir de la population par commune et leur superficie.

**5-1-5-La capacité d'infiltration** : identifiée à partir du bilan hydrologique établie sur une période de 27 ans.

### **5-2–Carte de Vulnérabilité :**

Il est évident que la protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que la granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible, en revanche, ce type de nappe une fois contaminé par un polluant le reste longtemps.

L'élaboration de la carte de vulnérabilité (sensibilité) des aquifères à la pollution s'impose à cause de leur utilisation dans la prévention et la protection des eaux souterraines. En effet, ces cartes permettent de localiser les zones sensibles à la pollution, (l'évaluation des risques de pollution des nappes) et aident à la mise en place d'aménagements spéciaux et de périmètres de protection des eaux souterraines captées.

La nappe d'eau de la plaine de SKIKDA est exploitée à l'alimentation en eau potable, mais la grande partie est utilisée pour l'alimentation des unités industrielles implantées dans la région.

A la base des facteurs (topographie, zone non saturée, capacité d'infiltration, densité de population, occupation du sol...) nous avons élaboré une carte de vulnérabilité à la pollution des eaux la nappe de la plaine de SKIKDA (*fig n°31*), elle met en évidence des régions susceptibles d'être affectées par la pollution, suivant le degré d'aptitude.

A ce titre son élaboration a pris en compte plusieurs démarches, en intégrant les paramètres cités, l'étude de la vulnérabilité a été améliorée par le calcul du pouvoir épurateur du sol sur le trajet verticale  $M_d$  où on obtient ainsi deux zones :

**$M_d < 1$  : zone A**

**$M_d > 1$  : zone B**

L'observation de cette carte montre l'importance de l'étendue des terrains à vulnérabilité élevée, qui occupent de l'ordre de  $17.2 \text{ km}^2$  soit 76.80 % de la superficie totale ;en revanche, les terrains à faible vulnérabilité se répartissent sur une faible superficie de l'ordre de  $5.2 \text{ km}^2$  soit 23.20% de la superficie totale étudiée.

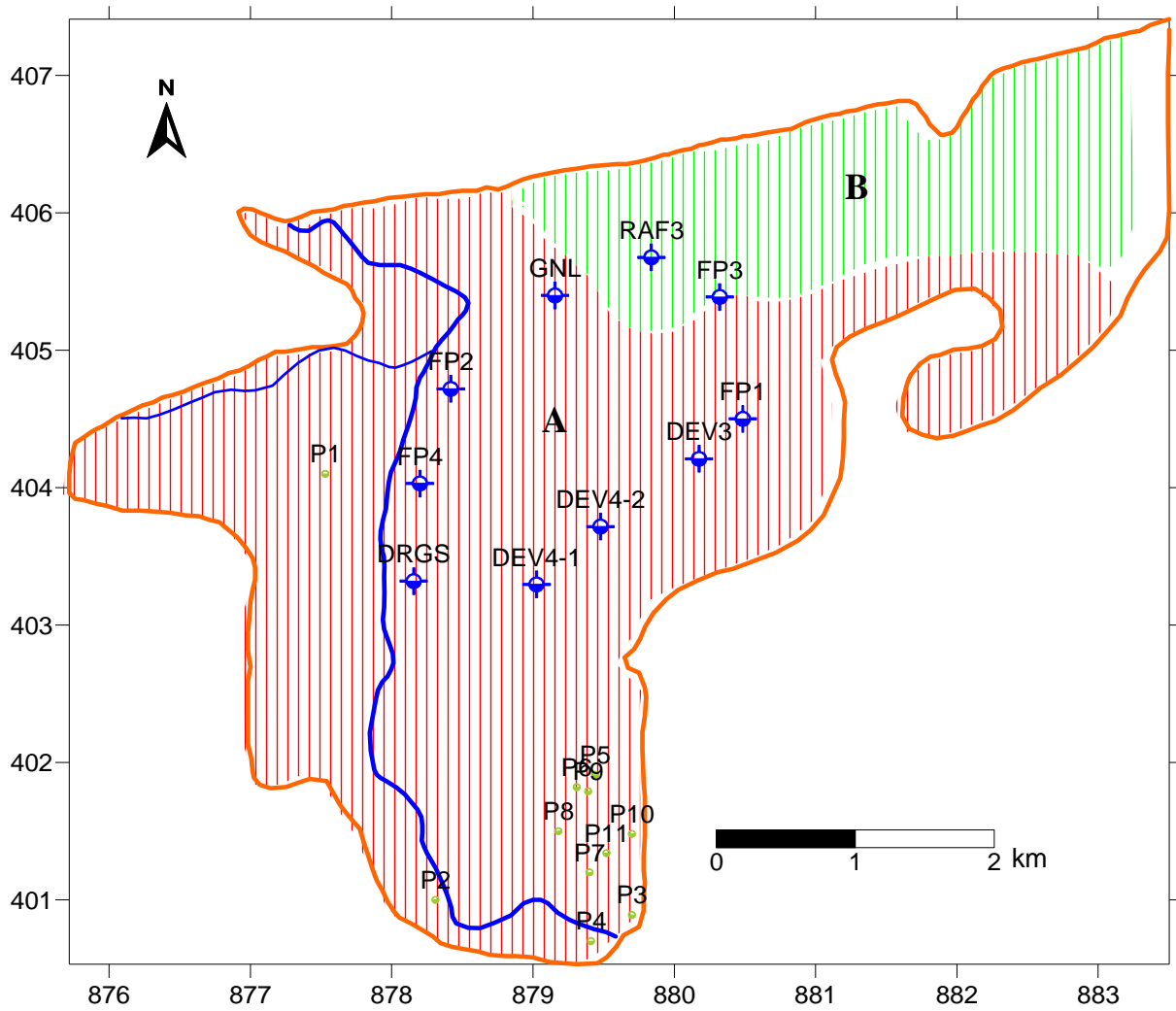
De ce fait, on peut dire qu'il s'agit d'une nappe globalement vulnérable à la pollution.

#### **5-2-1-Les terrains à forte vulnérabilité (zone A) :**

Occupant la majorité de terrain étudié. Elle s'étend de Sud Est vers le Nord Ouest, et se prolonge du Sud vers la mer au Nord. La lithologie de cette zone est constituée de sable au Nord, et des alluvions perméables au Sud , où le pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical  $M_d$  est inférieur à 1 donc l'autoépuration n'est pas totale elle doit se poursuivre dans la couche aquifère (la zone saturée). La zone A est la plus accessible à la pollution avec un risque de contamination élevé.

#### **5-2-2- Les terrains à faible vulnérabilité (zone B) :**

Se localisent à l'Est de la plaine de SKIKDA, elle se caractérise par un écoulement rapide vers la mer au Nord, et une formation lithologique des sables fins, pour cela le pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical  $M_d$  est supérieur à 1, donc l'autoépuration est totale dans la couche de couverture .Ainsi, une éventuelle pollution sera affaiblie ou bien éliminée avant d'atteindre la surface piézométrique.



**Légende**

◆ Forage

● Puits

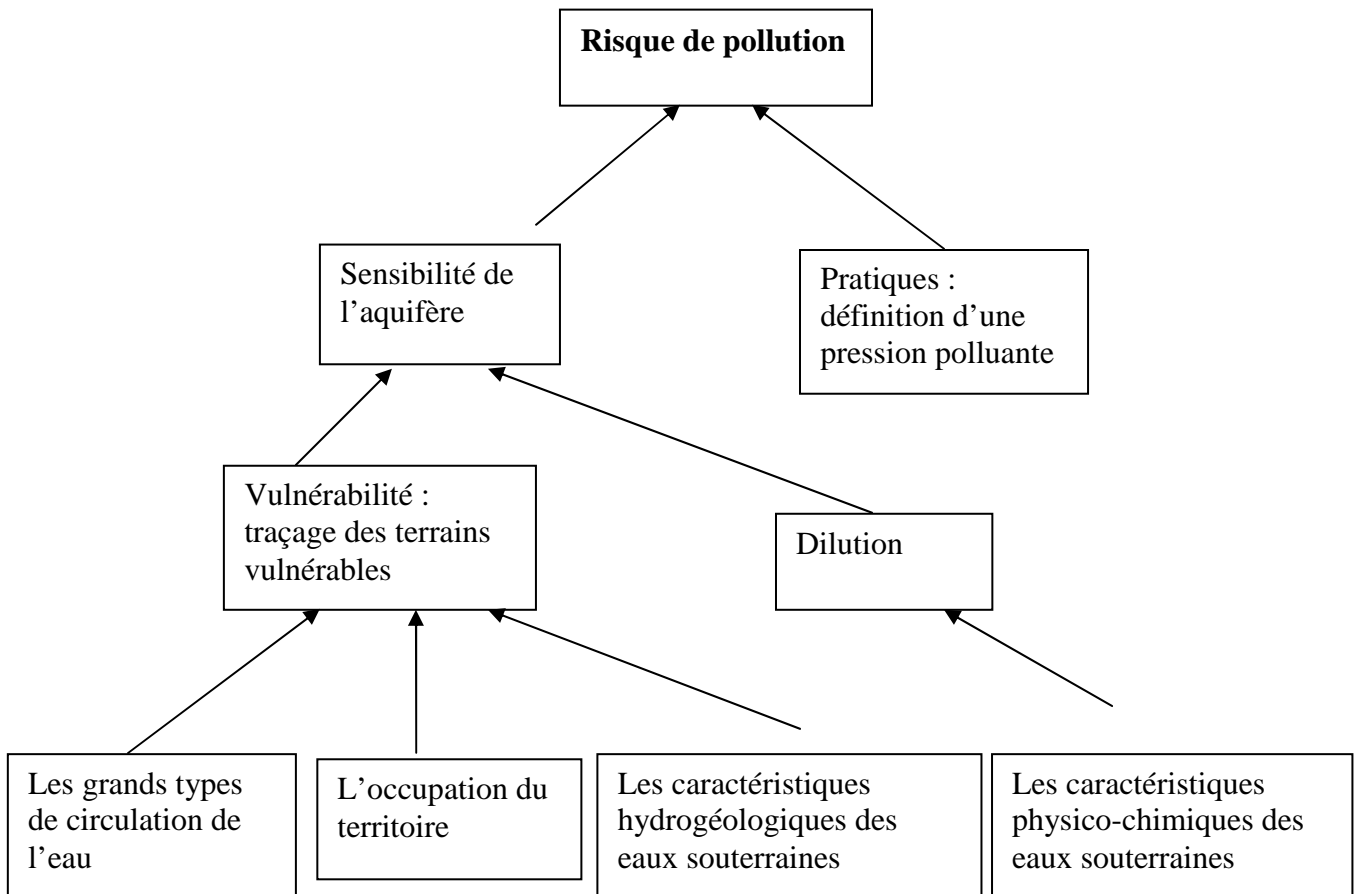
▨ Terrains à forte vulnérabilité.

▨ Terrains à faible vulnérabilité.

**Fig n°31: Carte de vulnérabilité de la plaine de SKIKDA**

## **6 Risque de Contamination de la nappe :**

Une carte de risque de la nappe à la pollution a été dressée en se basant sur le schéma ci-dessous :



**Fig n°32:Schéma explicatif d'établissement de la carte de risque**

L'établissement de la carte de risque à la pollution est issue de la combinaison de plusieurs facteurs :

- La carte de vulnérabilité.
- La position des différentes zones agricoles, urbaines et industrielles sur le site.
- Densité des axes routiers.

### **6-1- Carte d'occupation du sol:**

La carte de l'occupation du sol de la plaine de SKIKDA montre la position des différentes zones urbaines et industrielles avec l'absence des zones agricoles, ainsi que la densité de l'axe routier. En plus on trouve dans la plaine de SKIKDA:

#### **La zone Industrielle de SONATRACH:**

La zone industrielle de Skikda regroupe des unités industrielles dans le domaine des hydrocarbures (transport, raffinage et transformation). On peut citer:

##### **a- La raffinerie RA1/K**

Cette unité est située dans la zone industrielle à 2 km de la mer et aménagée sur une superficie de 190 ha. Elle produit le propane, le butane, essence (super et normal), gasoil (léger et lourd) ; fuel-oil ; bitume routier et les huiles.

##### **b – Le complexe GNL**

Situé dans la zone industrielle, c'est une unité de liquéfaction du gaz naturel et de production GPL, d'une capacité très importante de l'ordre de  $9,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{an}$ .

##### **c-L'unité de G.P.L**

C'est une unité de liquéfaction du gaz naturel et de production du G.P.L.

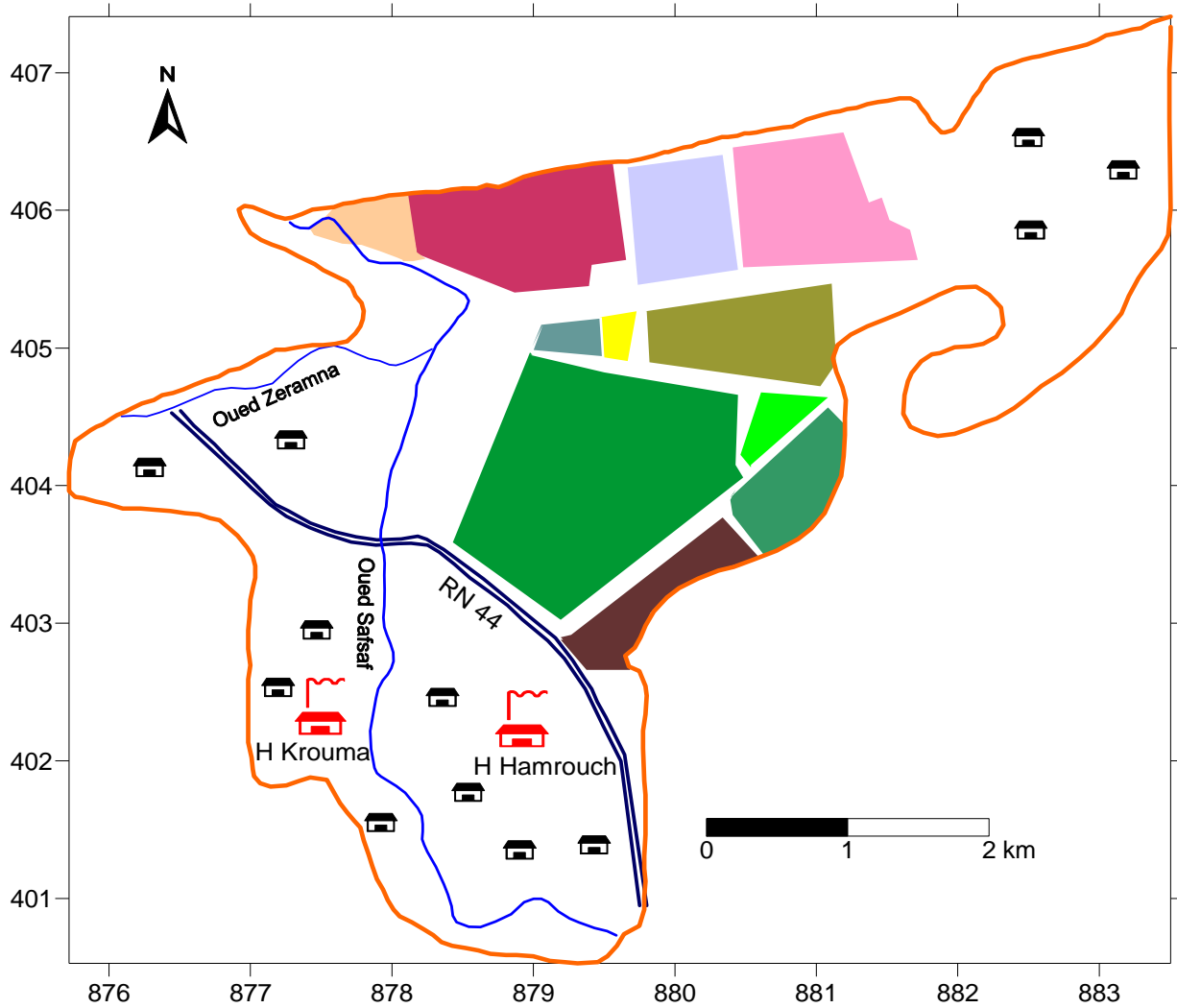
##### **4-d- Le complexe des matières plastiques GP<sub>1</sub> / K**

Il produit de l'éthylène « 120000 t/an », VCM « 40000 t/an » PVC 335000 T / AN3 ? Chlore et soude « 35000 t/an » ; PE- BD « 48000 t/an ».

##### **e – l'unité de transport U.T.E**















U.T.E ou l'unité de transport est une station intermédiaire de Hassi Messaoud, elle alimente la raffinerie en pétrole brut.

Au Sud de la zone industrielle se trouve les secteurs Hammadi Krouma (Ex: Domremont) et Hammoudi Hamrouch (Ex: Vallée) où est implanté l'usine de limonaderie et l'usine de plastique. Ainsi la plaine de SKIKDA est traversée par la route nationale n°44 qui relie SKIKDA et CONSTANTINE.



**Légende**

Les unités de Sonatrach

- |   |   |  |
|---|---|--|
|  DEV4          |  EGZIK |  SONALGAZ |
|  RTE           |  SOMIK |  |
|  DEV5          |  DEV1  |  |
|  DEV3          |  CPIK  |  |
|  DEV2          |  GLI/K |  |
|  usine         |  Route |  |
|  Agglomération |   |  |

**Fif n°33: Carte d'occupation du sol de la plaine de SKIKDA**



## **6-2- Carte de risque de contamination:**

Trois degrés de risque de pollution sont distingués :

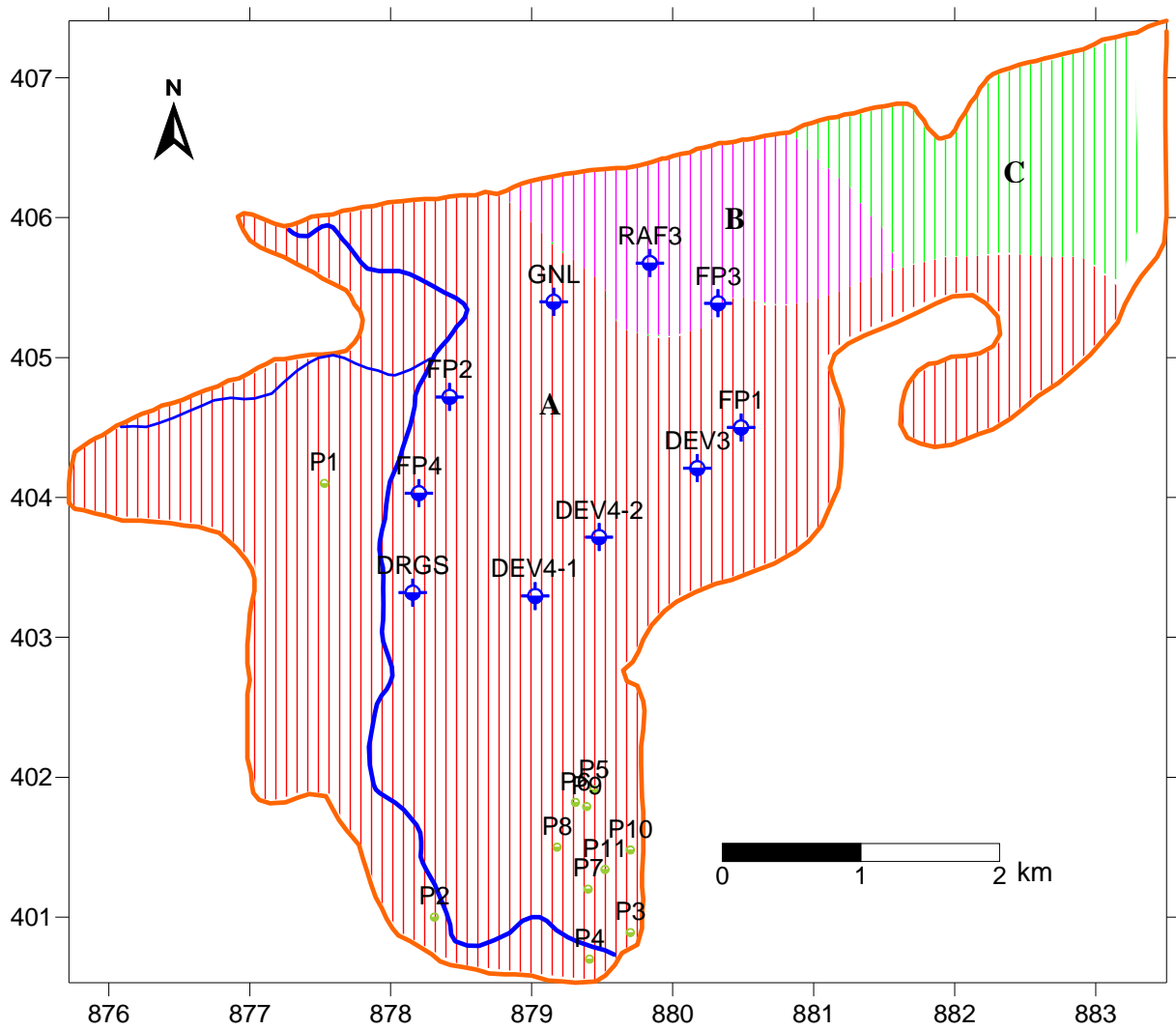
**6-2-1-Zone à fort risque** : occupe la majorité de la région.

Elle est caractérisée par :



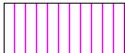


- L'implantation importante des sites industriels urbains
- Le caractère perméable des terrains ;
- La faible profondeur du niveau de la nappe par rapport au sol ;
- Un écoulement faible des eaux ;
- La présence d'un axe routier important.

**6-2-2-Zone à moyen risque** : La profondeur du niveau piézométrique est plus grande mais les rejets permanents dans le temps des unités industrielles de Sonatrach peuvent provoquer un risque de pollution.

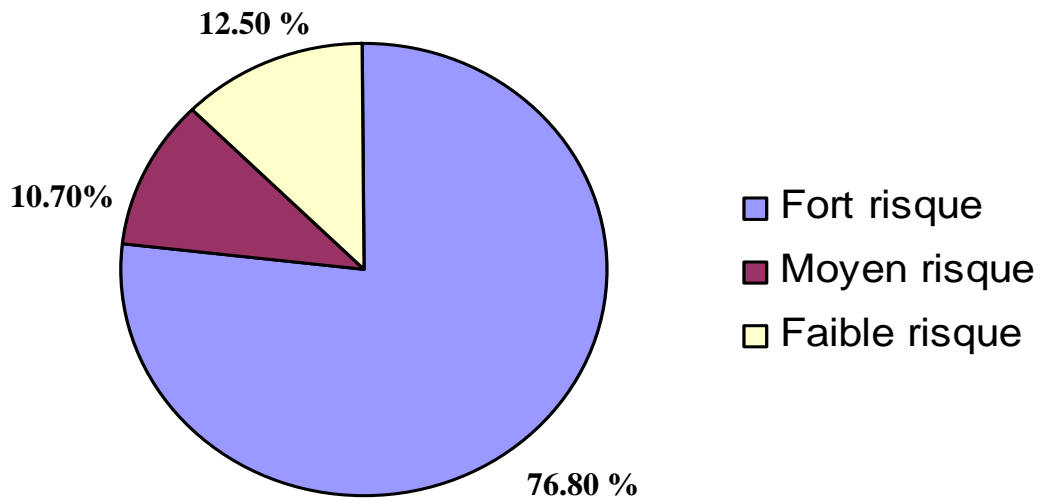
**6-2-3-Zone à faible risque** : Occupant la partie Nord Est de la région où on note l'absence d'activité industrielle et la nappe est profonde et mieux protégée.



**Légende**

- |   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Zone à fort risque   |  | Forage |
|  | Zone à moins risque  |  | Puits  |
|  | Zone à faible risque |   |        |

**Fig n°34: Carte de risque de contamination de la plaine de SKIKDA**



**Fig n°35: Répartition des différentes zones de risque sur la plaine de SKIKDA**

**Conclusion:**

La cartographie des zones de vulnérabilité de la nappe a révélé deux grandes zones de degrés de vulnérabilité différents. Les zones de faible vulnérabilité occupent 76.80 % de la surface totale de la plaine, alors que les zones à forte vulnérabilité occupent 23.20 % de cette surface totale.

La combinaison de la carte de vulnérabilité et la carte de d'occupation du sol fait ressortir trois zones de risque différent, où la zone à fort risque occupe la majorité de terrain étudié nécessitant une zone de protection.

# CHAPITRE VI

## Développement durable et code des eaux

---

*L'aménagement de la ressource en eau et le développement économique et social ne peuvent être considérés séparément. Cela est un des éléments indispensables pour qu'un plan d'aménagement soit réaliste et puisse être appliqué. Cela est aussi nécessaire pour répondre à un objectif de développement durable.*

## **I- Développement durable**

Dans ce chapitre nous allons présenter une étude bibliographique sur le développement et le code des eaux. Ce chapitre sera éventuellement illustré plus tard par des données de terrains dans nos futures recherches.

### **I-1- Définition:**

La définition la plus souvent proposée est : « *le développement durable est un développement qui répond aux besoins des générations présentes, sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.* ». Cette définition a une double connotation patrimoniale et notariale comme si le mode de transmission du patrimoine culturel, économique, social, etc. allait de soi, comme si les États, les pouvoirs publics ou privés, les différents acteurs de la société civile devaient gérer leurs activités en bons pères de famille. Je lui préfère le dicton kényan qui énonce que « *la terre, nous ne la transmettons pas à nos enfants, ce sont eux qui nous la prêtent* ».

### **I-2- Le concept de développement durable.**

**1970** : Un rapport du Club de Rome analyse le rapport qui existe entre la croissance économique et les limites écosystémiques que l'écologie révèle.

**1972** : Au cours de la Conférence internationale de Stockholm sur l'environnement, le concept d'écodéveloppement est proposé pour définir un modèle de développement respectueux de l'environnement et de l'équité sociale.

**1987** : Le concept de développement durable (sustainable) apparaît dans le rapport Brundtland. On y définit le développement durable comme " un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs " .

En théorie, ce concept se voudrait être une approche du développement fondée sur l'équilibre entre croissance économique et écosystèmes. Plus particulièrement, un geste est fait en direction des pays en voie de développement pour lesquels on accorderait une place plus équitable dans l'économie mondiale et des accès " démocratiques (sic) " à la santé et à l'éducation. Le rapport défend également l'idée d'une consommation maîtrisée des énergies et des ressources naturelles... Tout cela est souvent traduit comme la possibilité de piller et de

polluer la planète plus longtemps, en maintenant les rapports Nord Sud en l'état.

**1992** : Sommet de la Terre (Rio). À l'issue de cette conférence, cinq textes sont cosignés par 173 chefs d'État. Ce sont :

- La Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement ;
- La Convention sur les changements climatiques ;
- La Convention sur la biodiversité ;
- La Déclaration des principes relatifs aux forêts ;
  
- L'Agenda 21, un programme d'action international fixant des objectifs en matière d'environnement et de développement.

Enfin, le Sommet de la terre consacre l'importance et le rôle des Organisations non-gouvernementales (ONG) et de la société civile dans la réalisation des objectifs de l'Agenda 21.

L'économie, l'environnement et le social, avec une bonne gouvernance, sont les assises du développement durable :

L'économie au travers :

- La mise en place d'une coopération internationale avec les pays en voie de développement,
- La lutte contre la pauvreté,
- La modification des modes de production et de consommation,
- Les encouragements en direction du commerce équitable entre le Nord et le Sud,
- L'intégration des paramètres du développement durable dans les processus de décisions.

L'environnement par:

- La diminution des rejets polluants l'atmosphère,
- La lutte contre le déboisement, la désertification et la sécheresse,
- La protection de la biodiversité, des forêts et des montagnes,
  
- La promotion d'une agriculture respectueuse de l'environnement et de la santé,
- La protection des océans et des ressources halieutiques,
- La promotion pour les énergies renouvelables.

Le social en:

- Garantissant l'accès à la santé et de l'éducation,
- Luttant contre la pauvreté et la faim,
- Améliorant les conditions de vie,

**I-3- Développement durable en Algérie**

L'Algérie est confrontée à une crise écologique majeure qui menace la santé et la salubrité publique, la pérennité des écosystèmes fragiles, la capacité des générations futures à disposer des ressources nécessaires à la satisfaction de leurs besoins socio-économiques. La dégradation des sols, la rareté grandissante des ressources en eau, la perte de couverture forestière, l'appauvrissement de la diversité biologique ainsi que les changements à long terme dans le climat et leurs effets sur la pluviométrie sapent les efforts de réduction pérennes de la pauvreté et de croissance économique durable, L'insuffisance de traitement des eaux usées, la prolifération des déchets urbains, la pollution atmosphérique et les différentes pollutions industrielles affectent de manière notable la santé des citoyens avec des conséquences néfastes sur les groupes à faible revenu, vivant dans les bidonvilles ou dans les zones peu attractives (proximité de décharges, zones de rejet d'eaux usées...). L'Algérie a fait siennes les recommandations du Sommet de la Planète Terre qui s'est tenu à Rio de Janeiro en juin 1992. Elle est en phase de transition vers l'économie de marché et a trouvé là, l'occasion d'intégrer les éléments clés du développement durable dans le cadre de sa politique de réformes économiques.

En effet, l'idée que la croissance économique peut contribuer à la protection de l'environnement s'est affirmée progressivement depuis deux décennies. Plutôt que de freiner la croissance, il apparaît désormais préférable d'en changer la nature et d'en affecter une partie des fruits à la protection du patrimoine naturel.

Lutter contre la dégradation des ressources et contre les pollutions exige un développement technologique qui ne peut voir le jour que dans un contexte de croissance. Plutôt que d'opposer environnement et croissance, il est plus avisé de mettre les mécanismes économiques au service de la protection de l'environnement.

Les inter-relations entre conditions environnementales et bien-être humain sont très complexes. Le développement est en partie fonction de la capacité de l'environnement à fournir toute une gamme de biens et de services et à les maintenir dans le futur. La détérioration de l'environnement et les mauvaises conditions environnementales touchent de manière disproportionnée les couches les plus défavorisées de la population, leur santé et leurs revenus.

Aussi, pour se placer dans une logique de développement durable, il a été nécessaire à l'Algérie de construire, sur la base du constat du rapport national de l'environnement (RNE 2000), une Stratégie nationale de l'environnement (SNE) dans une perspective décennale, à la fois bénéfique pour l'environnement et le développement durable, articulée autour de trois axes :

- Relancer la croissance économique sur une base restructurée et élargie, afin de réduire la pauvreté et créer des emplois ;
- Préserver des ressources naturelles fragiles et limitées (eaux, sols, forêts, biodiversité...) pour un développement soutenable à long terme ;
- Améliorer la santé publique du citoyen par une meilleure gestion des déchets, de l'assainissement et des rejets atmosphériques.

Le Plan national d'action pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) qui en découle s'inscrit dans un cadre stratégique décennal, pour atténuer les impacts négatifs de la dégradation de l'environnement sur les différents milieux, faire converger “ transition économique” et “ transition environnementale ”, et ancrer l'Algérie dans la voie du développement durable. Il propose de renforcer le cadre juridique, de construire des capacités institutionnelles performantes, d'introduire des instruments économiques et financières, d'améliorer la gouvernance environnementale pour appuyer un programme d'investissements prioritaires (2001-2004) et les années à venir et permettre sa réalisation dans les meilleures conditions.



#### **I-4- Les objectifs nationaux de la stratégie environnementale**

Les leçons tirées de l'analyse des causes et des facteurs de la crise écologique démontrent clairement l'étendue et la gravité des problèmes environnementaux en Algérie qui affectent la santé et la qualité de vie de la population, la productivité et la durabilité du capital naturel, l'efficacité de l'utilisation des ressources et la compétitivité de l'économie en général et l'environnement régional et global. Aussi, les objectifs nationaux de la stratégie environnementale visent à :

a) Améliorer la santé et la qualité de vie des citoyens par notamment :

- L'amélioration de l'accès aux services d'eau potable et de l'assainissement ;
- La diminution des risques liés à la pollution d'origine industrielle ;
- L'amélioration de la qualité de l'air dans les grandes villes et aux abords des zones industrielles ;
  - L'élimination de l'essence plombée et l'amélioration de la qualité du diesel ;
  - La diminution de la production des déchets et l'introduction des techniques de gestion intégrée des déchets, tant au niveau institutionnel que financier;
  - L'amélioration des cadres juridique, institutionnel et de gestion de l'environnement.

b) Conserver le capital naturel et améliorer sa productivité par notamment :

- La clarification du statut foncier (droit de propriété, d'accès et d'usage) des terres agricoles et steppiques;
  - L'affectation de manière rationnelle des ressources en eau et l'adoption des technologies de production et d'utilisation les plus adaptées ;
  - L'atteinte des objectifs de sécurité alimentaire à travers une production à haute valeur ajoutée, une politique d'irrigation durable, le commerce et l'amélioration du taux de couverture des importations par des exportations ;
    - L'augmentation de la couverture forestière et du nombre de zones protégées ;
- La protection des écosystèmes fragiles avec une attention particulière pour la biodiversité et les zones côtières ;
  - La formulation d'un cadre légal pour la participation des populations locales et

riveraines ainsi que d'autres partenaires dans les projets liés à la conservation du patrimoine naturel ;

- Le renforcement du développement local et rural pour augmenter les emplois, les exportations, et garantir la conservation des ressources.

c) Réduire les pertes économiques et améliorer la compétitivité par notamment :

- La rationalisation de l'utilisation des ressources en eau ;
  - La rationalisation de l'usage des ressources énergétiques ;
  - La rationalisation de l'utilisation des matières premières dans l'industrie ;
  - L'augmentation du taux de recyclage des déchets et de la récupération des matières premières
- L'amélioration de la gestion environnementale, de la maîtrise des coûts de production, de l'image de marque et la valeur marchande des entreprises ;
- La transformation (éventuellement la fermeture) des entreprises publiques les plus polluantes et les moins viables financièrement.

d) Protéger l'environnement global par notamment :

- L'augmentation du couvert forestier, de sa densité et sa biodiversité ;
- L'augmentation du nombre d'aires protégées, des zones humides et des zones de développement durable ;
- La protection des oasis contre les re-jets domestiques et la salinisation ;
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment dans le secteur de l'énergie.

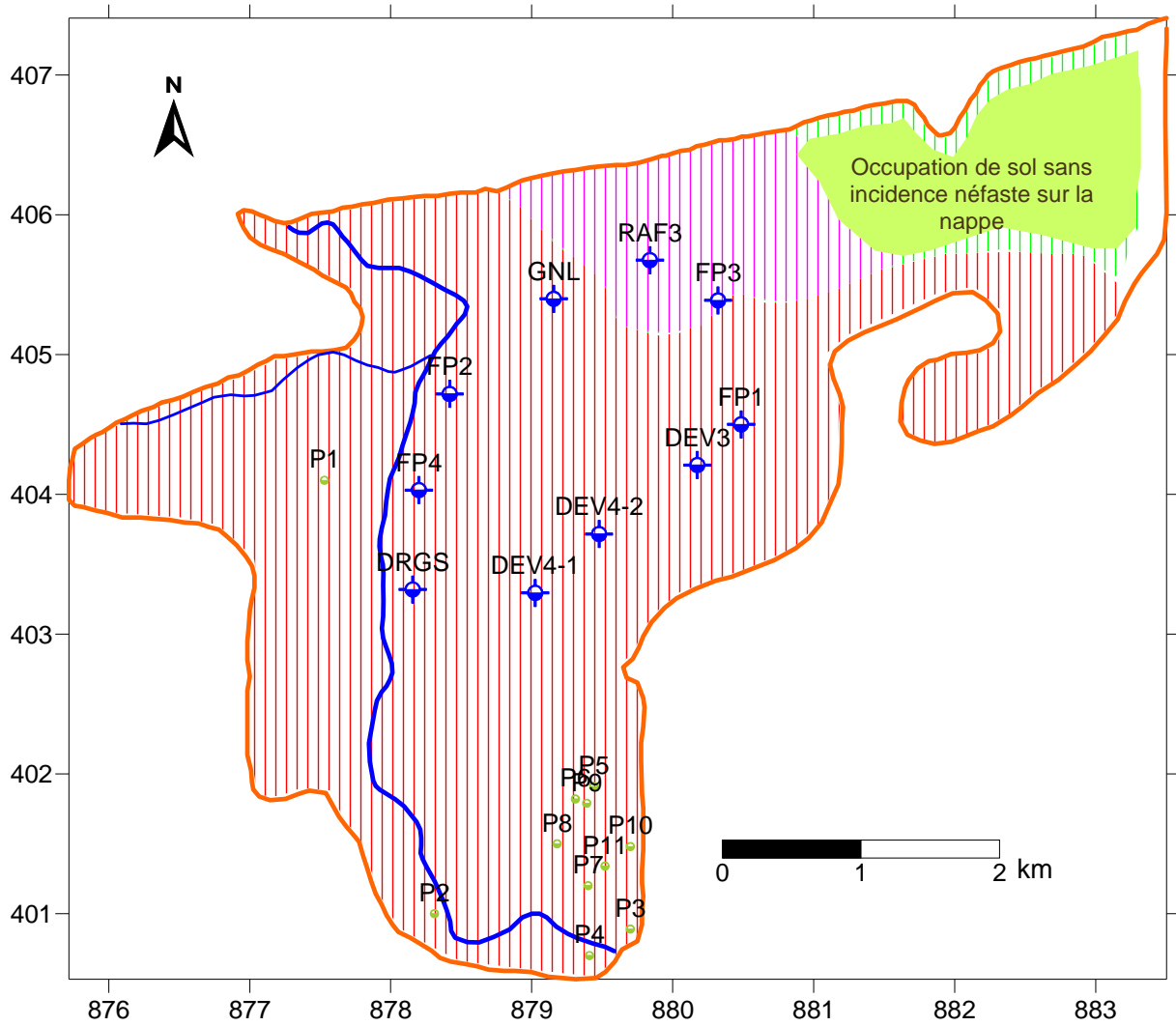
### **I-5- Développement économique et social et aménagement des ressources en eau dans la plaine de SKIKDA**

L'aménagement de la ressource en eau et le développement économique et social ne peuvent être considérés séparément. Cela est un des éléments indispensables pour qu'un plan d'aménagement soit réaliste et puisse être appliqué. Cela est aussi nécessaire pour répondre à un objectif de développement durable.



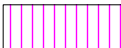

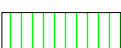
L'aménagement de la ressource doit en effet intégrer le développement social et économique de la région considérée en prenant en compte :

- L'évolution démographique, celle de l'emploi des actifs et du niveau de vie.
- Les demandes en eau et les rejets liés à la population, aux activités industrielles et agricoles.
- L'étude des marchés des productions industrielles et agricoles, dans la région concernée, dans le pays et à l'exportation ainsi que l'étude des marchés des activités induites par les activités consommatrices d'eau.
- Les ressources financières dégagées par ces marchés.
- Les besoins en infrastructures nécessaires à l'exploitation de la ressource et ceux en infrastructures nécessaires au développement de l'activité économique, ainsi que les coûts de maintenance correspondants.

L'étude de vulnérabilité et risque de pollution dans la plaine de SKIKDA a permis de cerner trois zones de risque à la pollution. A cet effet l'occupation future des sols peut se faire à la limite dans les zones B et C, mais doit être régie de manière à préserver les zones de risque de pollution des eaux souterraines de la plaine de SKIKDA (zone A).



**Légende**

- |   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Zone à fort risque   |  | Forage |
|  | Zone à moyen risque  |  | Puits  |
|  | Zone à faible risque |   |        |

**Fig n°36: Carte d'aménagements futurs de la plaine de SKIKDA**

## **II- Code des eaux**

Le renforcement du dispositif juridique et réglementaire dans le domaine de la protection des eaux a constitué l'une des priorités de l'Algérie. Ces textes sont actuellement nombreux, parmi eux nous citons:

- Loi n°83-03 du 5 Février relative à la protection de l'environnement.
- Loi n°83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux.
- Loi n° 85-05 du 16 Février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé.

Nous citons ci-dessous quelques articles de la loi n°83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux.

**Article 3.-** Il est inséré au niveau des dispositions de la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, un article 1 er bis rédigé comme suit:

**Art. 1 er bis.-** La politique nationale de l'eau repose sur les principes suivants:

- unité de gestion, gestion intégrée, économie de l'eau, déconcentration coordination et participation des usagers.
- respect de l'unité du cycle hydrologique du bassin hydrographique et des systèmes hydrauliques.
- compatibilité de la gestion des eaux avec la politique d'aménagement du territoire, la protection de l'environnement et de la nature.

**Article 7.-** Il est inséré au niveau des dispositions de la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, un article 55 bis rédigé comme suit:

**Art.55 bis.-**Le wali est tenu de faire procéder régulièrement, dans le cadre du contrôle sanitaire prévu par les lois et règlement en vigueur, aux analyses de contrôle , de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine. Il rend publics les résultats de ces contrôles.

**Article 8.-** Il est inséré au niveau des dispositions de la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, un article 85 bis rédigé comme suit:

**Art.85 bis.-** Les agglomérations de plus cent mille (100000) habitants doivent disposer impérativement des procédés et de systèmes d'épurations des eaux usées.

Sont soumises aux mêmes obligations, fixées par l'alinéa précédent, les localités situées dans les périmètres de protection, en amont des ouvrages hydrauliques d'approvisionnement des populations en eau potable.

**Article 9.-** Il est inséré au niveau des dispositions de la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, un article 102 bis rédigé comme suit:

**Art.102 bis.-** Sans préjudice des dispositions de l'article précédent, les unités industrielles, quel que soit leur domaine, doivent procéder à la mise en conformité de leurs installations aux normes de rejet, telles que fixées par la réglementation en vigueur.

Elles doivent, dans tous les cas, procéder au traitement adéquat de leurs effluents, conformément à par la réglementation en vigueur.

**Article 11.-** Il est inséré au niveau des dispositions de la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, un article 125 bis rédigé comme suit:

**Art.125 bis.-**La planification de la mobilisation et de l'utilisation des ressources en eau a pour objectifs généraux de parvenir à une meilleure satisfaction des demandes en eau, d'équilibrer et d'harmoniser le développement régional et sectoriel en augmentant les disponibilités des ressources, en protégeant la qualité, en économisant son emploi et en rationalisant ses usages en harmonie avec l'environnement et les autres ressources naturelles. Cette planification sera réalisée à travers des schémas- directeurs d'aménagement et d'utilisation des eaux qui fixent pour chaque bassin ou groupement de bassins organisés selon des modalités précisées par voie réglementaire, les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau et les conditions de sa répartition entre les différents usagers.

### **III- Protection de la nappe:**

Pour assurer la protection d'un champ de captage, il est nécessaire de délimiter des périmètres de protection des captages ( sources, puits et forages ) dans lesquels les servitudes sont indemnisées ou interdites , nous définissons trois ( 03) périmètres de protection : le périmètre de protection immédiat , rapproché et éloigné.

#### **III-1-Les périmètres de protection immédiats ( P.P.I) :**

Le périmètre de protection immédiat doit être acquis en pleine propriété et chaque fois qu'il sera possible clôturé, il est un périmètre de défense du captage.

- pour les sources , un secteur de 10 à 250 m de rayon sera le plus souvent suffisant.

-Pour les puits dans des terrains résistants et peu perméable, un cercle de 25 m de rayon pourra suffire.

### **III-2- Les périmètres de protection éloignés ( P.P.E ) :**

A l'intérieur du périmètre de protection éloignés, peuvent être réglementés les activités ( dépôts d'ordures, installations de conduite ,...).

Le P.P.E peut couvrir tout le bassin versant.

### **III-3- Les périmètres de protection rapprochés ( P.P.R ) :**

Définie une surface à l'intérieur de laquelle peut être interdits ou réglementés toutes activités, tous dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux.

Les activités pouvant faire l'objectif d'interdiction ou de réglementation à l'intérieur des périmètres de protection concernant notamment :

- l'exploitation des carrières ;
- l'installation de canalisations , réservoirs et dépôts d'hydrocarbures ;
- l'installation des canaux des eaux usées de toute nature ;
- l'établissement de toutes constructions ;
- l'épandage de fumier,engrais et tous produits destinés à la fertilisation des sols et à la protection des cultures ;
- les dépôts d'ordures, détritiques, produits radioactifs et d'une manière générale tout produit et matière susceptible d'altérer la qualité de l'eau ;
- la circulation des véhicules automoteurs ;
- l'installation de station de service de distribution de carburant ;
- toute activité sur les plans d'eau, telle que pêche, chasse, navigation, lavage et nettoyage.

D'après les résultats des mesurés du pouvoir épurateur du sol par la formule empirique de REHESE 1977, on remarque que :

- Au niveau de la zone B et C le pouvoir est totale dans les couches de couverture et que le périmètre de protection rapprochée n'est pas nécessaire à calculer.
- Au niveau de la zone A le pouvoir épurateur sur le trajet vertical est inférieur à 1 nécessitant une zone de protection rapprochée en moyenne de 40 m de rayon autour des captages.

## **Conclusion générale**

Le présent travail se rapportant à la plaine de SKIKDA, qui a connu ces dernières années un développement industriel très important. La mauvaise gestion de cette activité potentielle a produit plusieurs cas de pollution au niveau des ressources en eau de la région.

L'étude géologique et hydrogéologique de la zone d'étude montre l'existence de trois ressources en eau: les eaux de surface dans l'oued de Safsaf et oued Zeramna qui sont utilisées pour l'irrigation. La nappe superficielle est contenue dans les sables quaternaire, son épaisseur varie de 8 à 30 m. Elle est en relation directe avec la surface, repose sur un substratum marneux imperméable qui devient semi-perméable au Sud avec un changement de faciès par des roches argilo sableuses. La nappe dite profonde est largement répandue dans la zone d'étude. Elle est contenue dans les graviers du Quaternaire. Cette nappe est limitée de tous les cotés par des formations métamorphiques (schistes et phyllades) sauf au Nord où elle est limitée par la mer méditerranéenne.

Du point de vue climatique, il s'agit d'une zone à climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes, un été chaud et sec et un hiver froid et humide. Le calcul du bilan hydrique montre qu'à partir d'une précipitation de 1056 mm, seulement 16 % s'infiltrent vers la nappe. Le reste partant sous forme d'évapotranspiration (47 %) et de ruissellement (37 %).

La chimie de l'eau de la plaine de SKIKDA montre que les eaux souterraines (nappe superficielle et nappe profonde) possèdent des valeurs élevées de la conductivité, dues à l'existence de certains éléments chimiques à concentrations élevées ( $\text{HCO}_3$ , Cl, Na). Cet excès est du d'une part à une contamination naturelle par la dissolution des terrains traversées (roches carbonatées, formations salifères, argiles) ou à l'invasion marine surtout dans la partie Nord Ouest (Hedbani 2006), et d'autre part par une pollution due aux rejets du complexe de Sonatrach riches en chlore et soude qui sont déversés directement dans la plaine



La vulnérabilité de la plaine de SKIKDA vis à vis d'éventuels contaminants de surface reste à définir et à améliorer par des études approfondies sur les paramètres hydrodispersifs et sur les paramètres de pollution organique dans la zone non saturée. D'après le degré d'autoépuration, l'étude a permis de cerner trois zones de risque à la pollution. A cet effet l'occupation des sols peut se faire à la limite dans les zones à faible et moyen risque, mais doit être régie de manière à préserver les zones de risque de pollution des eaux souterraines de la plaine de SKIKDA. La mise en place de périmètres de protection n'est pas suffisante pour assurer une protection efficace, elle doit être complétée par la construction de stations de traitement des effluents dans les zones à forte activité industrielle.

L'aménagement de la ressource en eau et le développement économique et social ne peuvent être considérés séparément. Cela est un des éléments indispensables pour qu'un plan d'aménagement soit réaliste et puisse être appliqué. Cela est aussi nécessaire pour répondre à un objectif de développement durable donc l'aménagement de la ressource en eau doit en effet intégrer le développement social et économique de la région considéré.