



**République Algérienne Démocratique et Populaire**



**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued**

**Faculté des Science et Technologie**

**Département d'Hydraulique et de Génie civil**

## **MEMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master professionnel (LMD) en  
Hydraulique

Option: **Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement**

## **THEME**

*Utilisation des réservoirs aquifère dans une région humide*

*(cas de la zone de Skikda Nord-est algérien)*

*(Les bases physiques pour la gestion des nappes souterraines)*

**Présenté par :**

Bachire Debbech  
Guemari Dhia Ia eddine

**Soutenu publiquement devant le jury composé de:**

Mr. MILOUDI Abdel-Monem	M.A.A	Université d'El-Oued	Président
Mr. KHECHANA Salim	M.C.B	Université d'El-Oued	Examineur
Mlle. ZAIR Nadjet	M.A.A	Université d'El-Oued	Promoteur

Promotion : mai 2017

# Remerciement

# *Remerciement*

*Le travail présenté dans ce mémoire s'est déroulé au sein de l'université d'el-oued, sous la direction du Melle ZAIR Nadjjet, maitre de conférences A à l'université d'el-oued, à qui je lui exprime ma profonde gratitude pour l'attention portée pour l'élaboration de ce mémoire, ses aides précieuses, conseils, son soutien permanent.*

*Je tiens également remercie Monsieur KHECHANA Salim, maitre de conférences A à l'université d'el-oued, et Monsieur MILOUDI Abed Elmoniem maitre de conférences A à l'université d'el-oued qui m'ont fait l'honneur d'accepter de participer au jury de mémoire.*

*Mes remerciements vont également à l'ensemble du personnel de La classe HAYDRAULIQUE pour leurs collaborations et leurs amabilités.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de mon travail.*

*Cette page ne saurait être complétée sans remercier mes camarades de la promotion 2017.*

**BACHIRE DEBBECH**

**GUEMARI DHIA EDDINE**

Dédicace

# *DÉDICACE*

*A:*

- *Mon père et ma mère*
- *Mon frère et mes soeurs*
- *Tous les gens que j'aime et qui m'aiment*

*Je dédie ce travail.....*

*GUEMARI DHIA EDDINE*

# *DÉDICACE*

*A:*

- *Mon père et ma mère*
- *Mon frère et mes soeurs*
- *Tous les gens que j'aime et qui m'aiment*

*Je dédie ce travail.....*

*BACHIR DEBBECH*

# Résumé

**RÉSUMÉ :**

La plaine d'Elhadaiek possède actuellement des ressources hydriques relativement importantes, et qui sont représentées, par les eaux souterraines de la nappe d'Alluvion et les eaux de surfaces. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

Suite à l'analyse de la situation actuelle de la nappe et son réservoir, un programme d'action a été conçu pour mener cette évaluation de réserve et de ressource en eau souterraine. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres hydrogéologiques et physicochimiques au cours de campagne (2016).

Le traitement et la représentation des données ont été menés en faisant appel à des outils modernes :

- la description de la géométrie et de la structure des nappes, réalisée grâce à l'étude géophysique, qui montre que la nappe libre superficielle est constituée de sables, des galets et des graviers, avec une épaisseur de la couche perméable qui a plus récemment atteint (35 m).

Elle est alimentée principalement à partir de l'infiltration des précipitations et des sous bassins voisins.

- La qualité chimique de l'eau qui est admissible à médiocre.
- la présence de quelques polluants, tirant leurs origines des activités agricoles.
- Les résultats obtenus de la réserve régulatrice ( $2,2 \text{ hm}^3$ ) obtenues par le dépouillement de la carte de fluctuation de la nappe libre sont inférieures à celles qui sont déduites de la différence entre la réserve totale et permanente. L'exploitation de la nappe pour les besoins en AEP et en irrigation représentée par les débits extraits ( $0,62 \text{ hm}^3$ ) est inférieure à la réserve régulatrice. Ces paramètres du bilan de la nappe permettent en outre de conclure que la ressource en eau n'est pas totalement exploitable en raison de l'existence de la ressource en eau de surface telle que les barrages, les retenues collinaires et les oueds.

**Mots clés : aquifère, hydrogéologie, évaluation, réserve, eaux souterraines, Skikda.**

# Liste des figures

**Liste des figures**

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
1	Situation administratif de la Wilaya de Skikda	2
2	Situation administratif de la zone d'étude	3
3	Carte du Réseau Hydrographique du Bassin Versant du Saf-Saf.	5
4	Carte géologique de la région de SKIKDA (J.M.Vila 1977)	10
5	Schéma géologique de la région de SKIKDA	11
6	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (en mm) de la station de Skikda (1993/1994-2014/2015).	15
7	Histogramme des précipitations moyennes saisonnières en (mm) à la station de Skikda (1993/1994 - 2014/2015).	16
8	Diagramme de CP dans la station du Skikda (1994-2014)	19
9	Température moyenne mensuelle de la station Skikda(1994-1995/2014-2015).	20
10	Le diagramme ombro-thermique de la station de Skikda (1994-1995/2014-2015)	20
11	Représentation graphique du bilan de THORNTWAIT, station de Skikda (1994-2015)	26
12	Carte d'inventaire des points de prélèvement (puits) d'eau dans la plaine D'El-Hadaiek (Mars 2016)	30
13	Evolution de la température dans la nappe superficielle de la plaine D'El-Hadaiek en (°C) ( Mars 2016)	31
14	Evolution du pH dans la nappe superficielle de la plaine D'El-Hadaiek (Mars 2016).	32
15	Evolution de la conductivité électrique dans la nappe superficielle de la plaine D'El-Hadaiek ( Mars 2016	33
16	Variation de la teneur en Chlorures des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiiek en mg/l	35
17	Variation de la teneur en sulfates des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiiek en mg/l	36
18	Variation de la teneur en bicarbonates des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiiek en mg/l	37
19	Variation de la teneur en magnésium des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiiek en mg/l	38
20	Variation de la teneur en calciums des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiiek en mg/l	39
21	Variation de la teneur en Sodium des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiiek en mg/l.	40

22	Variation de la teneur en Potassium des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l.	41
23	Variation de la teneur en Nitrites des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l	42
24	Variation de la teneur en Ammonium des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l.	43
25	Variation de la teneur en phosphates des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l	44
26	Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Stiff	47
27	Représentations graphiques des faciès chimiques sur le diagramme de Piper	48
28	Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoeller –Berkaloff	50
29	Représentation graphique de l'aptitude des eaux à l'irrigation	53
30	Carte d'inventaire des points (puits et forage) d'eau dans la plaine d'El-Hadaiek (Mars 2016)	56
31	Coupe hydrogéologique dans la plaine d'El-Hadaiek (Attoui Barda modifiée 2016)	57
32	Carte piézométrique de la plaine d'El-Hadaiek (Mars 2016).	59
33	Carte piézométrique de la plaine d'El-Hadaiek (Juill 2016).	60
34	Carte de battement de la nappe superficielle en (m) durant l'année 2016.	61

# Liste des Tableaux

**Liste des Tableaux**

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
1	Coordonnées géographiques de la station de mesure.	14
2	précipitations moyennes mensuelles (mm) Station de SKIKDA (1993/1994 - 2014/2015)	15
3	Répartition saisonnière des précipitations en (mm) à la station de Skikda (1993/1994 - 2014/2015)	16
4	précipitations annuelles en (mm) de la station de Skikda (1994/1995 - 2013/2014).	17
5	récapitule les résultats du coefficient pluviométrique (CP)	18
6	températures moyennes mensuelles (°C) à la Station SKIKDA (1994-1995/2014-2015)	19
7	Humidités moyennes mensuelles en (%) à la station de SKIKDA	21
8	Vitesses moyennes mensuelles du vent en m/s station de Skikda	21
9	Durée d'insolation en heures (Ig) à la station de Skikda	21
10	Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « C.W.Thornthwaite » à la station de SKIKDA (1994/1995-2014/2015).	23
11	Résultats de l' ETR obtenus par la formule de (TURC) (1994/2015)	24
12	Résultats du ruissellement par la formule de «Tixeront Berkaloff» pour la station de SKIKDA (1994/1995-2013/2014).	24
13	Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique.	25
14	le bilan d'eau de C.W THORONTHWAITE –STATION DE SKIKDA (1994-2015)	26
15	classification des eaux selon le pH	32
16	classification de la minéralisation des eaux.	33
17	classification des eaux selon la teneur en Chlorure	34
18	classification des eaux selon la teneur en Sulfate.	35
19	classification des eaux selon la teneur en Bicarbonate	36
20	classification des eaux selon la teneur en Magnésium.	37
21	classification des eaux selon la teneur en Magnésium.	38
22	classification des eaux selon la teneur en Sodium	39

## *Liste des tableaux*

23	classification des eaux selon la teneur en Potassium	40
24	classification des eaux selon la teneur en Nitrites	42
25	classification des eaux selon la teneur en Nitrites	43
26	classification des eaux selon la teneur en phosphates	44
27	Répartition des faciès chimiques dans la nappe superficielle	45
28	Interprétation des diagrammes de Schoeller- Berkaloff	49
29	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R	51
30	Classe des qualités des eaux pour l'irrigation.	52
31	Inventaire des forages.	55
32	Estimation du volume total de la nappe et de la réserve totale	65
33	Estimation du volume total de la nappe et de la réserve permanente	66
34	Bilan hydrique globale du sous bassin d'Elhadaiek	67
35	calcul du volume de la réserve régulatrice de la nappe (2016)	69
36	récapitulatif des résultats de l'évaluation numérique des différentes réserves en eau souterraines	70

# Sommaire

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b> .....	01
------------------------------------	----

## ***Chapitre I: Aperçu géographique et géologique de la région d'étude***

<b>I-Caractéristiques géographiques et géologiques</b> .....	02
I-1-Caractéristiques géographiques.....	02
I-1-1-Situation géographique de la zone d'étude.....	02
I-1-2 -Géomorphologie et relief.....	03
I-1-3-Le Réseau hydrographique de la région de Skikda.....	03
I-2-Caractéristiques géologiques .....	06
I-2-1- Introduction.....	06
I-2-2- Cadre géologique régionale.....	06
I-2.3. LES ZONES INTERNES .....	06
I-2.3.A. Le socle kabyle .....	06
I-2.3.B. La dorsale kabyle .....	07
I-2.3.C. Le domaine des flyschs .....	07
I-2.3.D. L' Oligo – Miocène Kabyle .....	07
I-2.3.E. Le Numidien.....	07
I-2.3.F. Les Olistostromes.....	08
I-2.4. LES ZONES EXTERNES.....	08
I-2.4.A. Les nappes telliennes.....	08
I-2.4.B. Les nappes ultra-telliennes.....	08
I-2.4.C. Les nappes péni-telliennes.....	08
I-2.5. Géologie de la zone d'étude.....	08
I-2.5.A- Les dunes anciennes .....	08
I-2.5.B- Les alluvions .....	09
I-2.6. TECTONIQUE .....	12
<b>Conclusion</b> .....	13

## ***Chapitre II : Hydroclimatologie***

<b>Introduction .....</b>	<b>14</b>
II-2. Climatologie de la zone d'étude .....	14
II-3. Stations de mesure.....	14
II-4. Facteurs climatiques .....	14
II-4.1. Les precipitations.....	14
II-4.1.1. Répartition des précipitations mensuelles .....	15
II-4.1.2. Les précipitations moyennes mensuelles.....	15
II-4.1.3. Précipitations moyennes saisonnières.....	16
II-4.1.4. Précipitations annuelles.....	16
II-4.1.5 le coefficient pluviométrique (CP) .....	17
II-4.2. Température.....	19
II-4.2.1. Variation des températures moyennes mensuelles .....	19
II-4.2.2. Diagramme ombro - thermique (pluvio - thermique).....	20
II-4.3. L'humidité relative de l'air.....	21
II- 4.4. Les vents .....	21
II-4.5. Insolation .....	21
II-5. Le bilan hydrique .....	22
II- 5.1. L'évapotranspiration .....	22
II- 5.2. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	22
II-5.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) .....	23
II-5.4. Ruissellement (R).....	24
II- 5.5. Infiltration (I).....	25
II-5.6. Analyse du bilan hydrique .....	25
II-5.7. Interprétation du bilan hydrique .....	27
<b>Conclusion.....</b>	<b>28</b>

**Chapitre III : Hydrochimie**

<b>Introduction.....</b>	<b>29</b>
III-2. Etude de la chimie des eaux.....	29
III-3. Etude des paramètres analyses.....	31
III-3.1.Paramètres physiques.....	31
III-3.1.1.La Température (T).....	31
III-3.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	31
III-3.1.3. Conductivité électrique (CE).....	32
III-3.1.4. La dureté totale TH (°F).....	34
III-3.2. Paramètres chimiques .....	34
III- 3.2.1. Normes et qualités des eaux.....	34
III-3.2.1.A Les chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	34
III-3.2.1.B. Les sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	35
III-3.2.1.C. Les bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	36
III-3.2.1.D. Le magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	37
III-3.2.1.E. Le calcium (Ca <sup>2+</sup> ).....	38
III-3.2.1.F. Le sodium (Na <sup>+</sup> ).....	39
III-3.2.1.G. Le potassium (K <sup>+</sup> ) .....	40
III-3.2.1.H .Les nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	41
III-3.2.1.I. L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	42
III-3.2.1.J. Les phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	43
III-3.2.2. Détermination du faciès chimique.....	44
III-3.2.3. Représentation graphique des analyses chimiques.....	46
III-3.2.3.A. Diagramme de Stiff.....	46
III-3.2.3.B. Diagramme de Piper.....	48
III-3.2.3.C. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	49
III-3.2.4. Aptitude des eaux pour l'irrigation.....	51
III-3.2.4.A. Principe du diagramme.....	51
<b>Conclusion.....</b>	<b>54</b>

---

*Chapitre VI: Evaluation de réserve et ressource en eau souterraine*

<b>Introduction</b> .....	<b>55</b>
VI-2. Inventaire des forages et puits.....	55
VI-3. Les conditions aux limites .....	56
VI-4. La coupe hydrogéologique .....	56
VI-4.1. Etablissement de la coupe hydrogéologique .....	56
VI-4.2 Interprétation de la coupe hydrogéologique.....	58
VI-5. Piézométrie .....	58
VI-5.1. Etablissement de la carte piézométrique .....	58
VI-5.2. Interprétation de la carte piézométrique (nappe superficielle).....	60
VI-5.3. La fluctuation de la nappe superficielle .....	61
VI-5.4. Bilan du système aquifère .....	62
VI-6. Aperçu théorique sur l'évaluation de réserve et ressource en eau souterraine .....	62
VI-6. 1. Notion de réserve et ressource en eau .....	62
VI-6. 2. Catégorie de réserves en eau souterraine .....	63
VI-6. 3. Méthode d'évaluation de la réserve en eau souterraine .....	63
VI-6. 3.A. Principe d'évaluation .....	63
VI-6. 3.B. Renouvellement de réserve en eau souterraine .....	64
VI-6.3.C. Evaluation quantitative de la réserve et la ressource en eau souterraine.....	64
VI-6. 4. Réserve totale de la nappe .....	64
VI-6. 5. Réserve permanente (Wp) .....	66
VI-6. 6. Réserve exploitables ou renouvelables.....	67
VI-6. 7. Calcul du taux de renouvellement .....	69
<b>Conclusion</b> .....	<b>71</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>72</b>
<b>Références Bibliographiques</b> .....	<b>74</b>

Introduction

Générale

### Introduction Générale :

Il est aujourd'hui concevable et techniquement possible de planifier l'exploitation d'une nappe souterraine et d'intégrer sa gestion dans le cadre plus large de l'utilisation optimale des ressources globale d'un bassin ou d'une région d'EL-hadaieks.(Wilaya de skikda).

Les propriétés physiques propres aux milieux aquifères (transmissivité, diffusivité...), dotent les réservoirs d'eaux souterraines de qualité spécifiques (capacité régulatrice naturelle) qui compte tenu de leur extension, de leur configuration et de leur dynamique naturelle (régime d'alimentation et d'écoulement), conditionnent les modalités et de leur utilisation.

Le développement des exploitations (individuelles et collectives) d'eau souterraines, pour satisfaire des besoins en eau croissantes, a rendu nécessairement plusieurs région tel que la région d'étude, par suite leurs interférences ou de leurs effet cumulé sur les eaux de surface, une réglementation. Il a fait prendre conscience de la possibilité et de leur utilité d'une gestion planifiée des nappes souterraines.

Ce travail a consacré pour répondre à ces questions :

Comment en générale, les caractéristiques physiques des réservoirs aquifères permettent-elles de concevoir leur gestion ?

Dans quelles conditions cette gestion est-elle possible en pratique ?

# Chapitre-I

*Aperçu géographique et géologique de la  
région d'étude*

## ***I-Caractéristiques géographiques et géologiques :***

### **I-1-Caractéristiques géographiques :**

#### **I-1-1-Situation géographique de la zone d'étude**

La wilaya de Skikda s'étend sur une superficie de 4 118 km<sup>2</sup>, se situe dans la partie Nord-est du pays, dans l'espace géographique compris entre l'Atlas Tellien et le littoral méditerranéen. Elle dispose de 140 km de côtes qui s'étalent de la Marsa à l'est jusqu'à Oued Z'hour aux fins fonds du massif de Collo à l'ouest. Elle est limitrophe avec les Wilaya de Annaba, Guelma, Constantine et Jijel.



**Fig .1 :** Situation administratif de la Wilaya de Skikda

La zone d'étude fait partie de la vallée du « Zeramna », elle est constituée de deux parties :

- Une partie située en haut, sous forme d'une colline.
- Une partie en bas, sous forme d'une plaine.

Administrativement, la zone d'étude est située dans la commune d'El-Hadaieks, (wilaya de SKIKDA) selon la Figure (02).

Elle se trouve entre 6.50°et 6.54°E et 36.48°et 36.52°N.



Fig .2 : Situation administratif de la zone d'étude

### I-1-2 -Géomorphologie et relief

Autour de la région de Skikda se trouvent quelques reliefs :

- Le Djebel El Alia et le Djebel Kef Mosouna à altitudes variant entre 400 m 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 1364 m. La partie septentrionale de la chaîne numidique prend une orientation Sud-Ouest, Nord-Est ; les altitudes diminuent et atteignent 620 m à Kef Moma et 600 m au Kef Sebaroud.

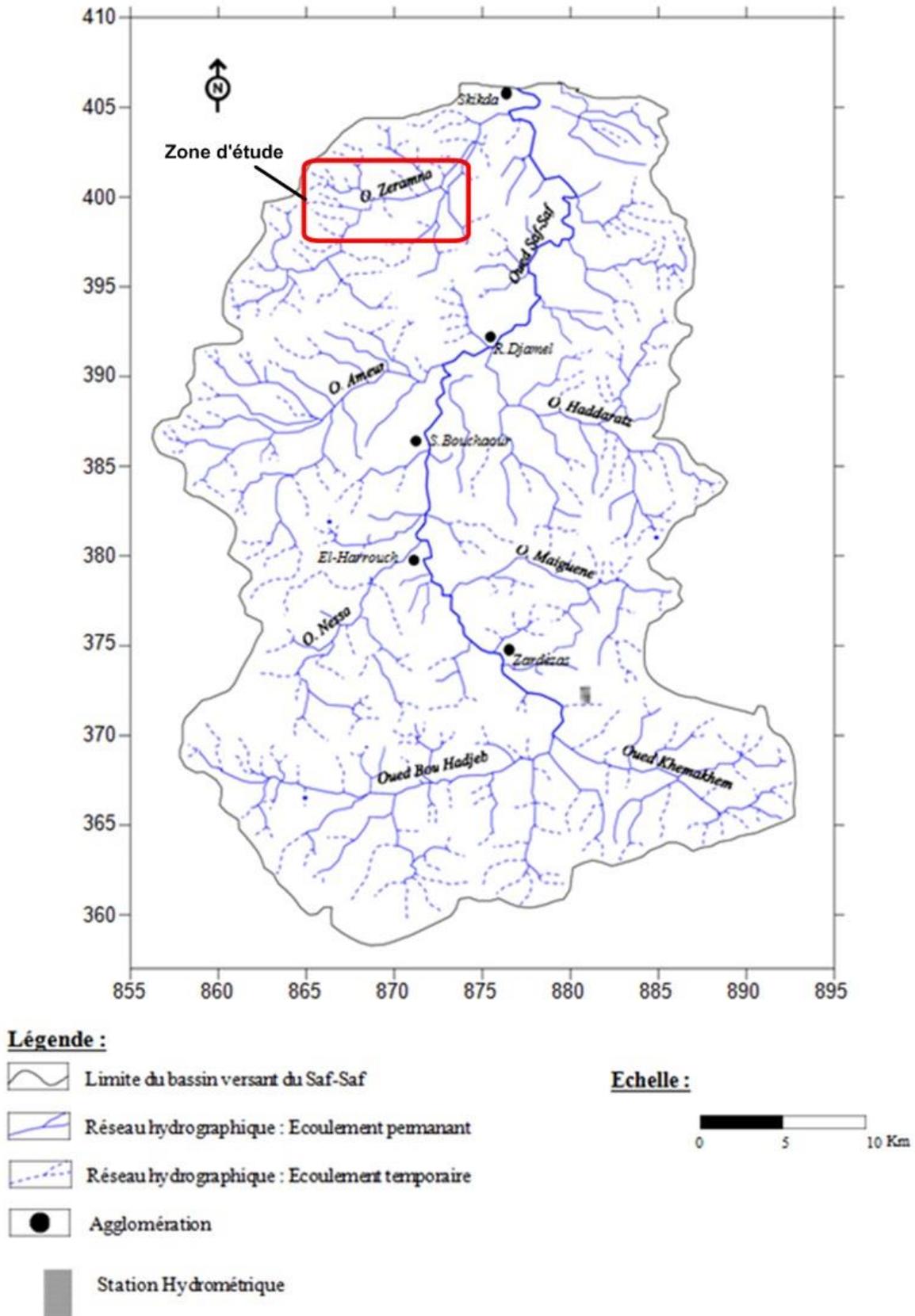
### I-1-3-Le Réseau hydrographique de la région de Skikda

La wilaya de Skikda est traversée par trois principaux cours d'eau à savoir : oued kebir à l'Est, oued Saf-Saf au Centre et oued Guebli à l'Ouest. Sept bassins hydrographiques sont alors identifiés au niveau de la région :

- ❖ A l'Ouest: on identifiés les deux bassins hydrographiques suivant :
  - ✓ le bassin côtier du Cap Bougaroun.
  - ✓ le bassin de l'oued Guebli.
- ❖ Au Centre : ainsi pour le centre, possède deux bassins hydrographiques :
  - ✓ le bassin de l'oued Bibi.
  - ✓ le bassin de l'oued Saf-Saf.
- ❖ A l'Est: trois bassins hydrographiques s'identifiés :

- ✓ le bassin côtier de Filfila.
- ✓ le bassin côtier du Kebir Ouest.
- ✓ le bassin côtier du Kebir Ouest cote Magroun.

Notre zone d'étude fait partie du bassin de l'oued Saf-Saf.



**Fig.03:** Carte du Réseau Hydrographique du Bassin Versant du Saf-Saf.

(KHELFAOUI Fayçal 2007).

## **I-2- Caractéristiques géologiques :**

### **I-2-1- 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

### **I-2-2- Cadre géologique régionale**

Le massif de la petite Kabylie fait partie de la chaîne des Maghrebides (Durand – Delga, 1955 ; 1969 ; 1980, Bouillin, 1971 ; 1977, Wildi, 1983.). La mole néritique Constantinoise s'étend sur plus de 150 Km le long du littoral, limitant la partie sud du bassin versant (Kef Toumiette, Kef Hahouner) est représenté par la chaîne de calcaire massif du Crétacé dirigé d'Est (Edough) en Ouest (Babors), les flancs Ouest et Nord-Est du bassin présentent des terrains anciens métamorphiques.

Le cadre structural étant très complexe, peut être défini par la superposition de plusieurs unités structurales.

### **I-2.3. LES ZONES INTERNES :**

#### **I-2.3.A. Le socle kabyle :**

Le socle de la petite Kabylie est composé d'un ensemble de roches métamorphiques, méso zonales, à cata zonales et d'ensemble de roches peu ou pas métamorphiques.

Sur le plan structural, l'ensemble métamorphique est constitué par la superposition de trois édifices tectoniques (Mahdjoub, 1991) avec de bas en haut :

- ✓ Edifice de Bougaroun,
- ✓ Edifice de Beni-Ferguène,
- ✓ Edifice supérieur.

Les massifs anciens métamorphiques occupent une grande partie du bassin du Saf-Saf. Du côté Ouest, ils s'étendent de Stora jusqu'au col de Staiha, ils affleurent également au Sud d'El-Harrouch et au Nord de Aine Bouziane, ils sont formés de phyllades, de micaschistes et de porphyroïdes.

Dans la partie Nord-Est du bassin (Dj. Filfila), ils sont essentiellement dominés par des schistes et des marbres.

**I-2.3.B. La dorsale kabyle :**

La dorsale kabyle est constituée essentiellement par des formations épaisses de calcaire. Raoult, (1974) a subdivisé la dorsale Kabyle en trois sous-unités superposées du Nord vers le Sud :

- ✓ Dorsale interne,
- ✓ Dorsale médiane,
- ✓ Dorsale externe.

Elle affleure au Sud-Ouest du bassin versant de l'oued Saf-Saf (Dj. Rhedir, Kef Sebergoude, Kef Toumiette).

**I-2.3.C. Le domaine des flyschs :**

Il est composé de terrain d'âge Crétacé à Eocène à dominance carbonatée, parmi lesquels on reconnaît deux séries stratigraphiques bien individualisées : la série du flysch Mauretarien et celle du flysch Massilien (Raoult, 1969 ; Bouillin et Al., 1970).

**I-2.3.D. L' Oligo – Miocène Kabyle :**

C'est une série sédimentaire correspondant à la couverture stratigraphique transgressive initiale du socle Kabyle (Raoult, 1974 ; 1975). Elle est constituée par :

- ✓ Un conglomérat à la base,
- ✓ Des grés micacés à débris provenant du socle,
- ✓ Des selexites à radiolaires.

**I-2.3.E. Le Numidien :**

La nappe numidienne comporte à sa base des argiles à Tubotomaculum dont le sommet est daté de l'Oligocène supérieur. Ces argiles sont surmontées par des bancs de grés à quartz roulé d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur basal.

Les formations numidiennes occupent les sommets des unités structurées précédentes. Elles affleurent au niveau de Zerdazas, Kef Toumiette et de Dj. Bou Abed, ainsi qu'au niveau de la plus part des koudiets du centre du bassin.

**I-2.3.F. Les Olistostromes :**

Décrits pour la première fois en Petite Kabylie par Bouillin et Raoult (1971), les Olistostromes sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flyschs intercalés avec des passées gréséo-micacées d'âge Aquitanien et Burdigalien inférieur, faisant suite à l'O.M.K. l' Oligo – Miocène Kabyle .

**I- 2.4. LES ZONES EXTERNES :**

Elles sont constituées par des nappes de flyschs comportant des terrains datés du Crétacé à l'Eocène. Ces formations qui ont subies une tectonique tangentielle majeure d'âge fini-Lutétien ou fini-Oligocène (Bouillin, 1977), reposent particulièrement sur l'autochtone saharien.

**I-2.4.A. Les nappes telliennes :**

Elles sont composées d'un empilement de nappes pelliculaires d'âge Crétacé à Eocène (Durand-Delga, 1969).

**I-2.4.B. Les nappes ultra-telliennes :**

Elles sont représentées par des sédiments clairs du Néocomien à l'Eocène. Elles se sont mises en place par des diverticulations (Lahondère, 1987). Elles affleurent au Sud-Ouest de Kef Toumiette et de Djebel Bou Abed. L'affleurement de la série ultratellienne se localise au Nord de Kef Hahouner. Cette série comporte des marno-calcaires à ammonites, pyrites et des marno-calcaires microbréchiques.

**I-2.4.C. Les nappes péni-telliennes :**

Elles sont composées essentiellement de formations à tendance néritique d'âge Cénomaniens à Jurassiques. Ce sont les nappes les plus basses structurellement.

**I-2.5. Géologie de la zone d'étude :**

Le quaternaire couvre la majeure partie du bassin versant. D'après les coupes géologiques établies dans le terrain d'étude par ALGEO, il est formé par des dunes anciennes et des alluvions.

**I-2-5-A- Les dunes anciennes :** Rencontrées au Nord Est de la plaine de Skikda, le long de la côte. Elles sont constituées par trois niveaux : inférieur, moyen et supérieur.

**I-2-5-B- Les alluvions :** on distingue trois types :

Alluvions actuelles : limons du lit majeur de Saf Saf, de Zeramna et de la plaine formée par le confluent de ces deux Oueds représenté par des sables, des limons du lit moyen et de sables des plages.

Alluvions récentes : d'âge Néoplatonicien, se sont des limons et des cailloux roulés du fond des vallées.

Alluvions anciennes : se sont des terrasses de limons et de cailloux roulés qui drainent de 15 m à 50 m le lit de l'Oued Saf Saf et Zeramna jusqu'à El Harrouche.

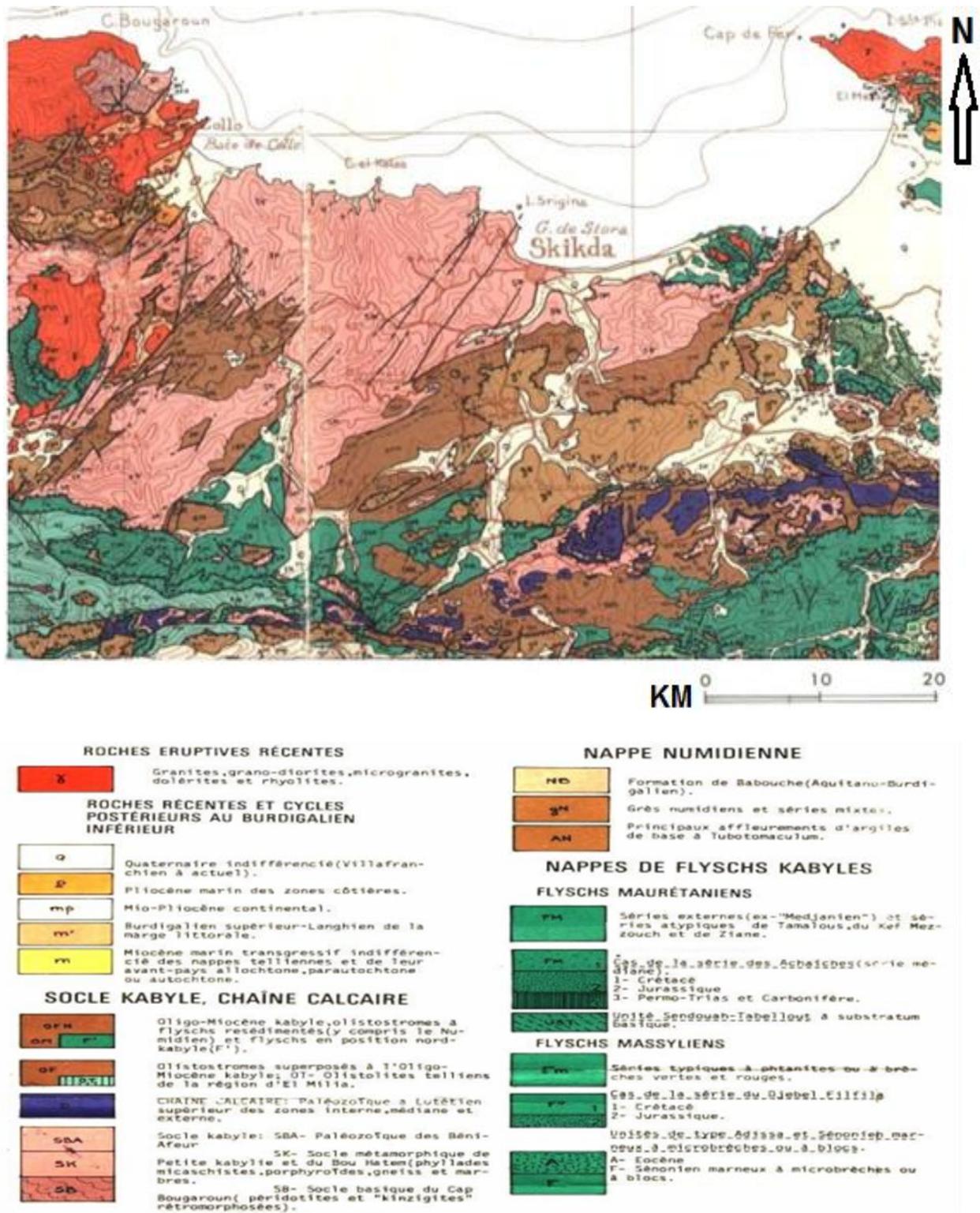
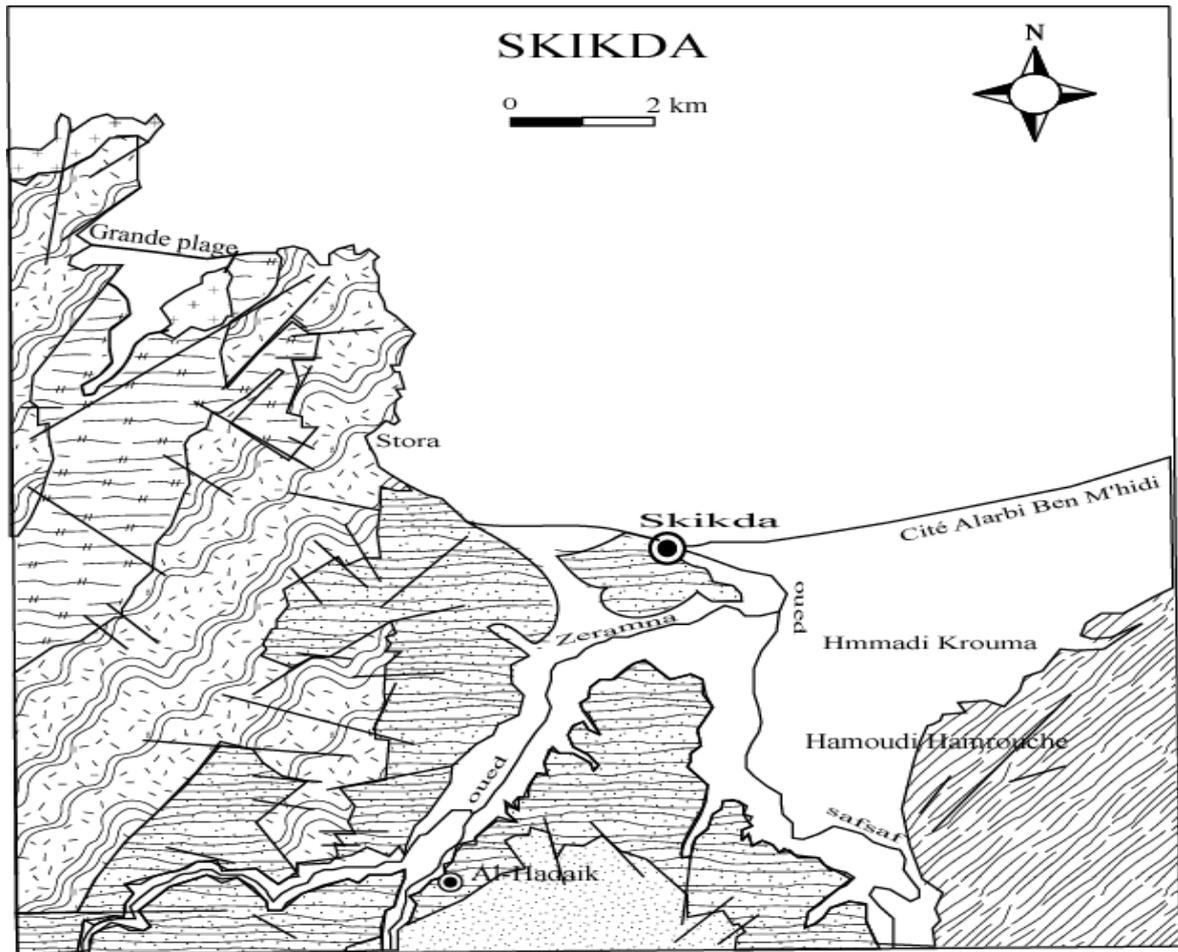


Fig.04 : Carte géologique de la région de SKIKDA (J.M.Vila 1977)



 Quaternaire Pélitiques  
Sérioloschistes-Grés

 Grès numidiens et Oligo-Miocène Kabyle

 Schistes

 Granites

 Schistes:

 Orthogneiss

 Paragneiss

 Failles

 Contours

**Fig. 05** : Schéma géologique de la région de SKIKDA  
(D'après Durand. Delga, 1969)

**I-2.6. TECTONIQUE :**

Le bassin versant de l'oued Saf-Saf est affecté par une néotectonique responsable de la structure actuelle. D'après Raoult (1974), les phases tectoniques les plus importantes sont :

✓ **les mouvements tectoniques précoces (Crétacé- Paléocène) :**

La dorsale kabyle est affectée par de nombreuses petites failles durant le Jurassique et la Néocomien – Barrémien. L'action de ces mouvements s'étend aussi au niveau de dorsale médiane (Dj. Bou Abed : Crétacé supérieur). Dj. Bougrina est entouré par le flysch mauretaniens et présente deux importantes failles, l'une d'une grande extension NW-SE. Dans la dorsale externe, la zone de Tengout a été fortement tectonisée pendant le Draconocénomanien. Une partie de la dorsale externe est charriée sur la série du Rhédir.

✓ **La phase fini-Lutétienne (Lutétien supérieur- Priabonien du Dj. Tengout et du Dj. Rhédir) :**

Cette phase est caractérisée par une tectonique tangentielle qui est post – Paléogène.

✓ **La phase Oligocène et Miocène (Oligocène terminal-Aquitaniens) :**

Elle est caractérisée par de nombreux plis et failles, cette phase est responsable de l'accident d'El Kantour et de la position structurale de la série de Filfla.

**Conclusion :**

Du point de vue géologique, la région d'étude présente des terrains allant du Paléozoïque au Quaternaire. La diversité lithologique et l'évolution structurale des massifs limitrophes de la plaine de la zone d'étude « Zeramna », ont conditionné dans de larges mesures, l'accumulation de matériaux détritiques alluvionnaires qui représente un intérêt hydrogéologique important.

# Chapitre-II

*Hydroclimatologie*

## Introduction :

L'étude hydroclimatologique 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.

### II-2. Climatologie de la zone d'étude :

La région est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par un hiver doux et humide, et par un été chaud et sec.

Pour bien préciser les caractéristiques du climat, il est nécessaire d'étudier les différents facteurs climatiques qui le composent notamment : les précipitations, les températures, et l'évapotranspiration...etc...

### II-3. Stations de mesure :

L'étude climatologique est basée sur l'interprétation des données météorologiques enregistrées au niveau de la station de SKIKDA (nouveau port) Dans cette station, on a des observations faites sur une période de 21 ans (1994-2015).

Les coordonnées de cette station sont consignées dans le tableau n° 01:

**Tableau . 01 :** Coordonnées géographiques de la station de mesure.

<i>Station</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Altitude</i>	<i>Période d'observation</i>
<b>SKIKDA</b>	<b>06°56'E</b>	<b>36°53'N</b>	<b>10 m</b>	<b>1994/ 2015</b>

### II-4. Facteurs climatiques :

#### II-4.1. Les précipitations :

Les précipitations, facteur important du climat, conditionnent le comportement hydraulique des variations des niveaux des nappes souterraines. La pluviométrie est la principale source d'alimentation des bassins. Elle constitue donc l'élément fondamental du bilan hydrologique.

D'après le rapport de la direction de l'environnement (1999), La wilaya de Skikda est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie, la pluviométrie annuelle enregistrée est très forte. Les pluies sont généralement torrentielles.

Ces précipitations sont hivernales et ont lieu entre Novembre et Février.

### II-4.1.1. Répartition des précipitations mensuelles :

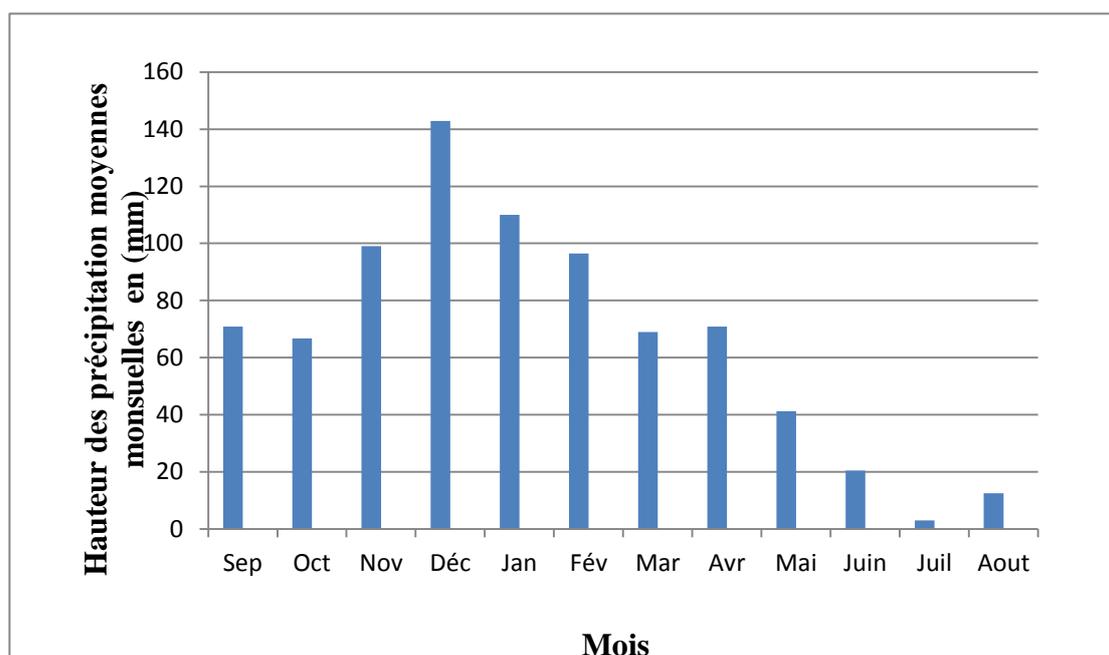
Pour caractériser les pluies en une station observée durant une période donnée, il est nécessaire de calculer la hauteur des pluies moyennes mensuelles pour chaque mois de l'année afin de mieux mettre en évidence la répartition des précipitations, Juillet et Août sont particulièrement secs.

### II-4.1.2. Les précipitations moyennes mensuelles :

Le tableau ci-dessous donne les hauteurs moyennes mensuelles des précipitations.

**Tableau .02** : précipitations moyennes mensuelles (mm)  
Station de SKIKDA (1993/1994 - 2014/2015)

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Total.
<b>P(mm)</b>	70.9	66.7	99.0	142.9	110.0	96.5	69.0	70.9	41.2	20.4	3.0	12.5	803.1



**Fig. 06** : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (en mm) de la station de Skikda (1993/1994-2014/2015).

D'après les résultats du tableau 2, on a remarqué :

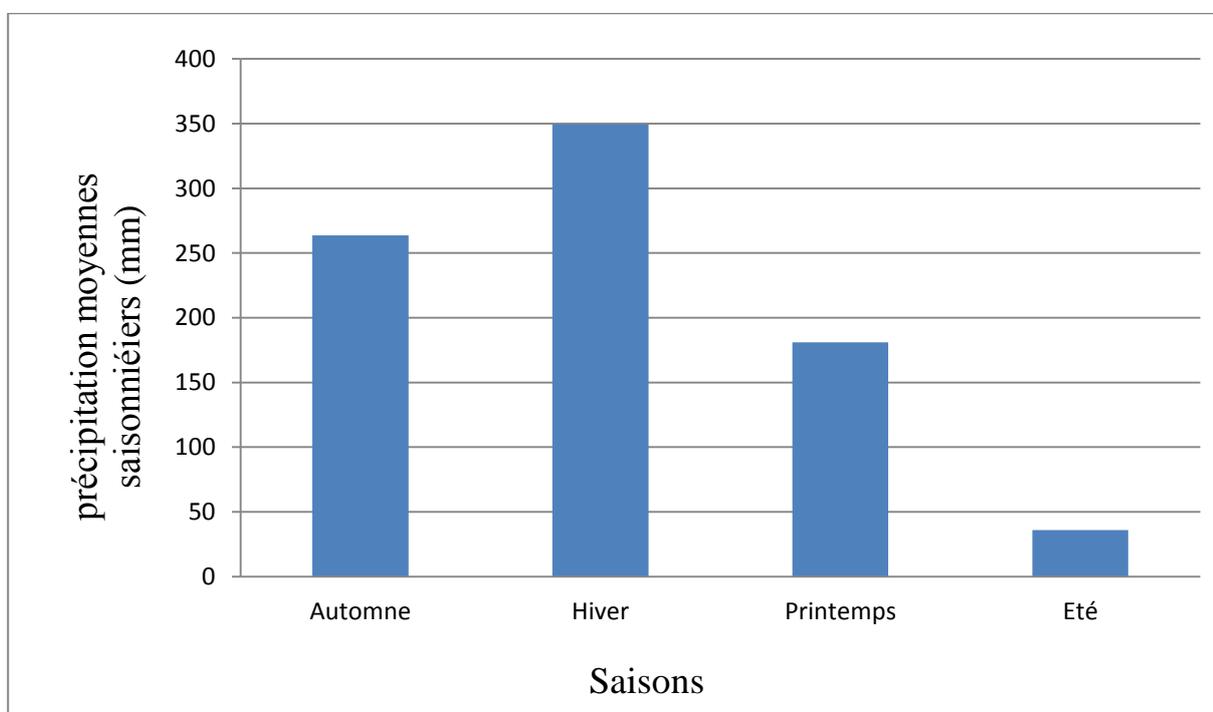
Les précipitations atteignent leur maximum au mois de Décembre avec une hauteur de 142.9 mm et leur minimum au mois de Juillet avec 3.0 mm

### II-4.1.3. Précipitations moyennes saisonnières :

L'étude des précipitations saisonnières permet de donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon les quatre saisons. Elle se fait de la façon désignée dans le tableau n°03:

**Tableau . 03 :** Répartition saisonnière des précipitations en (mm) à la station de Skikda (1993/1994 - 2014/2015)

	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Total
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
<b>P (mm)</b>	236.6			349.4			181.1			35.95			<b>803.1</b>
<b>P (%)</b>	29.5			43.5			22.5			4.5			<b>100</b>



**Fig. . 07:** Histogramme des précipitations moyennes saisonnières en (mm) à la station de Skikda (1993/1994 - 2014/2015).

La représentation saisonnière ci - dessus montre que la saison la plus pluvieuse est l'Hiver par contre l'Eté est la saison la plus sèche.

### II-4.1.4. Précipitations annuelles:

L'étude des précipitations annuelles de la station de SKIKDA montre une grande différence entre l'année la plus arrosée (2004-2005) avec 1119.90 mm et l'année la plus sèche (1998-1999) avec 518.5.70 mm.

Le tableau n° 04 représente les variations des précipitations annuelles (1994/1995 2014/2015).

**Tableau .04** : précipitations annuelles en (mm) de la station de Skikda (1994/1995 - 2014/2015).

Année	Precipitations annuelles en (mm)
1994-1995	633,00
1995-1996	692,00
1996-1997	740,50
1997-1998	817,40
1998-1999	518,50
1999-2000	1032,90
2000-2001	746,10
2001-2002	931,10
2002-2003	537,70
2003-2004	578,40
2004-2005	1119,90
2005-2006	943,79
2006-2007	1112,30
2007-2008	620,30
2008-2009	694,40
2009-2010	802,33
2010-2011	978,90
2011-2012	959,20
2012-2013	836,60
2013-2014	841,50
2014-2.15	765,60

#### II-4.1.5 Le coefficient pluviométrique (CP) :

La variabilité des données des précipitations mensuelles est exprimée par un paramètre permettant de distinguer les années excédentaires de celles déficitaires. C'est le "coefficient Pluviométrique" (CP) obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne de toute la série d'observation. Il est donc en relation proportionnelle avec la pluviométrie et on a :

$$Cp = P / P_{moy}$$

Où : Cp : Coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

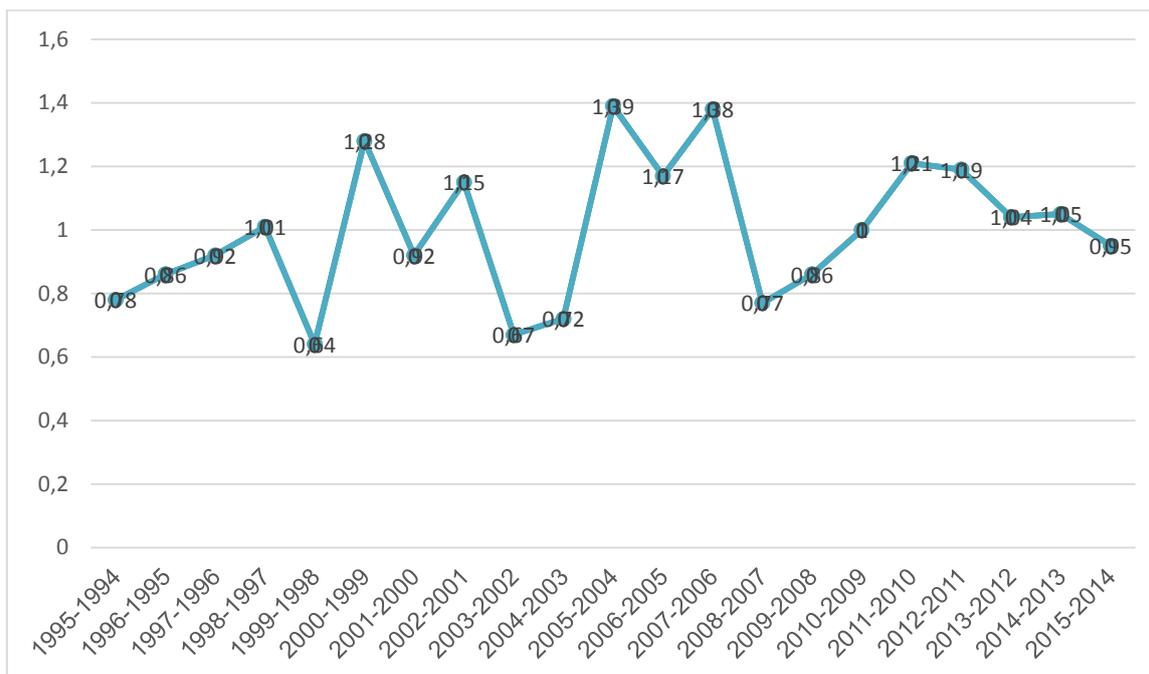
$P_{\text{moy}}$  : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

- Une année est dite excédentaire (AE) si :  $CP > 1$ .
- Une année est dite déficitaire (AD) si :  $CP < 1$ .

**Le tableau .05** : récapitule les résultats du coefficient pluviométrique (CP) .

Année	Precipitations annuelles en (mm)		
1994-1995	633,00	0.78	AD
1995-1996	692,00	0.86	AD
1996-1997	740,50	0.92	AD
1997-1998	817.40	1.01	AE
1998-1999	518,50	0.64	AD
1999-2000	1032,90	1.28	AE
2000-2001	746,10	0.92	AD
2001-2002	931,10	1.15	AE
2002-2003	537,70	0.67	AD
2003-2004	578,40	0.72	AD
2004-2005	1119,90	1.39	AE
2005-2006	943.79	1.17	AE
2006-2007	1112.30	1.38	AE
2007-2008	620.30	0.77	AD
2008-2009	694.40	0.86	AD
2009-2010	802.33	1	AE
2010-2011	978.90	1.21	AE
2011-2012	959.20	1.19	AE
2012-2013	836.60	1.04	AE
2013-2014	841.50	1.05	AE
2014-2015	765.60	0.95	AD

- D'après les résultats ; il y a une alternance entre les années excédentaires (AE) et celles déficitaires (AD), cela est indiqué dans la figure ci-dessous.



**Fig. 08 :** Diagramme de CP dans la station du Skikda (1994-2015)

**II-4.2. Température :**

La température est un facteur climatique influent sur la végétation, et intervient dans l'évaporation et l'évapotranspiration. Elle est très importante dans l'évaluation de l'écoulement qui entre dans l'estimation du bilan hydrique du fait qu'il conditionne l'évaporation.

**II-4.2.1. Variation des températures moyennes mensuelles :**

**Tableau . 06 :** températures moyennes mensuelles (°C) à la Station SKIKDA (1994-1995/2014-2015)

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Moy
<b>T (°C)</b>	<b>25.2</b>	<b>22.2</b>	<b>17.8</b>	<b>14.8</b>	<b>13.4</b>	<b>13.0</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>20.4</b>	<b>23.7</b>	<b>26.4</b>	<b>27.2</b>	<b>19.7</b>

Les températures enregistrées sont représentatives du climat méditerranéen de la région .le mois le plus chaud est le mois d'aout avec une température moyenne de 27,2 °C, alors que le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne de 13,4 °C.

Les résultats du tableau sont représentés dans le diagramme (**Fig. n° 09**) :

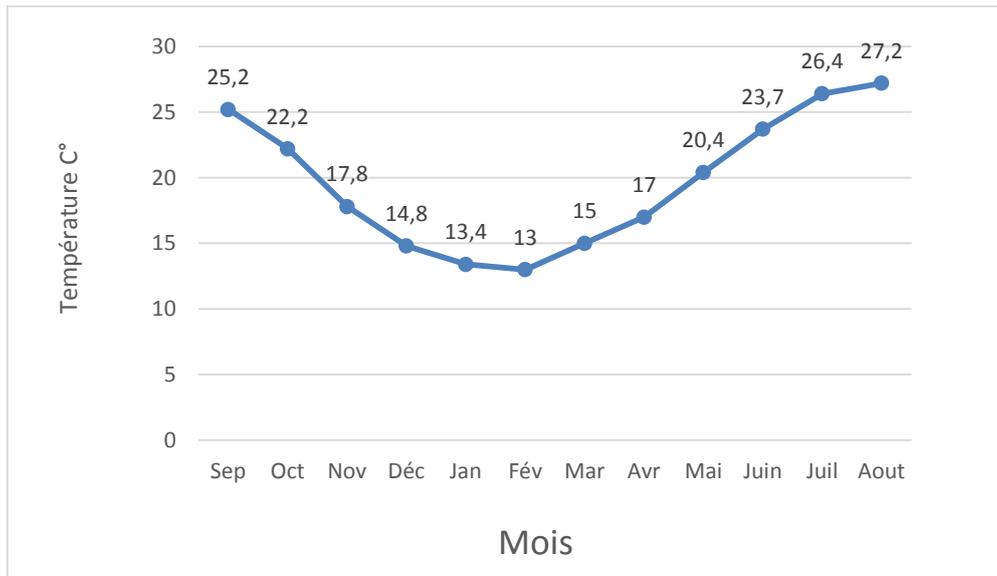


Fig. 09 : Température moyenne mensuelle de la station Skikda (1994-1995/2014-2015).

II-4.2.2. Diagramme ombro - thermique (pluvio - thermique):

On établit ce diagramme en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles correspondantes à la même période d'observation à condition que P soit égal à 2T (P=2T). Il permet de déterminer les saisons sèches et humides, tel qu'il est mentionné.

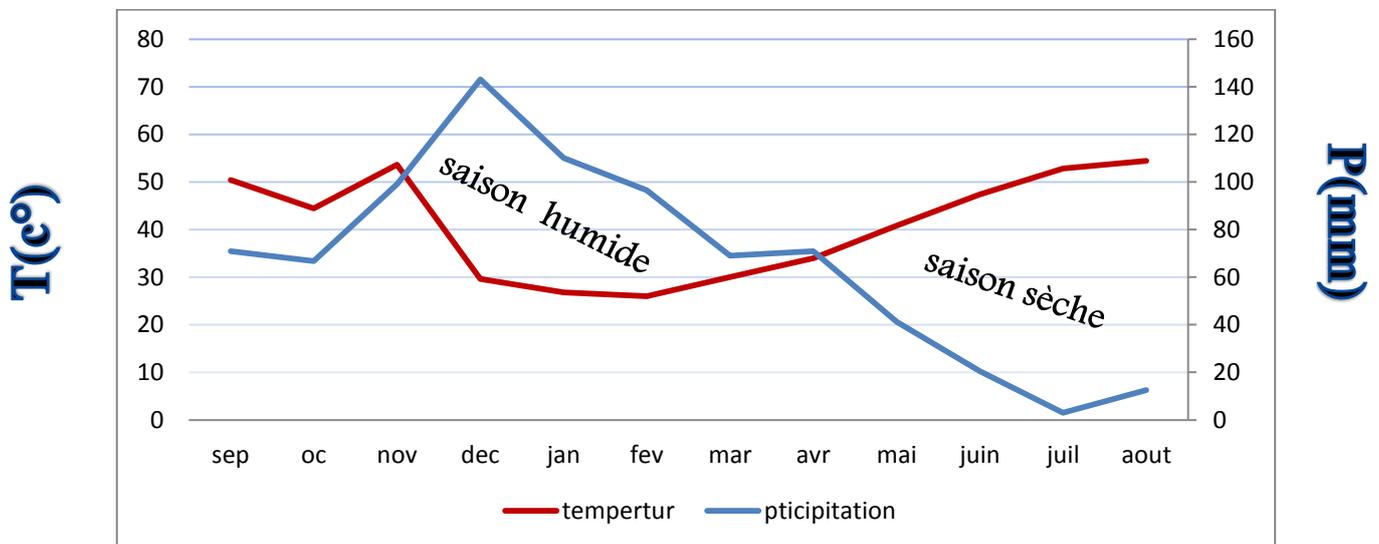


Fig. 10 : Le diagramme ombro-thermique de la station de Skikda (1994-1995/2014-2015)

Le diagramme ombro-thermique établi montre l'existence de deux saisons bien distinctes :

Une saison sèche : s'étalent du mois de mai à novembre.

Une saison humide : ou  $P > 2T$  et qui s'étale du mois de novembre à avril.

**II-4.3. L'humidité relative de l'air :**

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de la vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température. Le tableau n° 07 contient les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Skikda durant la période d'observation allant de l'année 1994/1995 à 2014/2015.

**Tableau . 07:** Humidités moyennes mensuelles en (%) à la station de SKIKDA  
(1994-1995/2014-2015)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	moyenne
H <sub>m</sub> (%)	67,9	70,9	71,2	71,8	74,2	72,4	71,4	71,4	71,8	72,2	70,5	70,6	71,36

L'humidité maximale à la station de Skikda est de l'ordre de 74.2% enregistrée en hiver (Janvier), et l'humidité minimale atteint la valeur 67.9% en été (Septembre).

**II-4.4. Les vents :**

Le vent est l'un des facteurs climatiques déterminant le régime pluvieux et l'évapotranspiration. Nous disposons des données de la station de SKIKDA pour la période (1994/1995-2014/2015).

**Tableau . 08 :** Vitesses moyennes mensuelles du vent en m/s station de Skikda  
(1994-1995/2014-2015)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Jut.	Aout.	Moy.
vent (m/s)	15.8	16.1	19.50	21.8	18.7	20.1	20.4	19.4	16.2	15.7	14.2	16.7	17.9

**II-4.5. Insolation :**

Le tableau n° 09 montre la durée de l'ensoleillement en heures :

-Le maximum d'insolation est observé au mois de juillet pendant 350 heures.

-Le minimum au mois de décembre avec 137 heures.

**Tableau .09 :** Durée d'insolation en heures (I<sub>g</sub>) à la station de Skikda  
(1994-1995/2014-2015)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Moy.
I <sub>g</sub> (heures)	239	214	152	133	145	162	217	234	282	307	349	315	229

## II-5. Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique permet de connaître les deux périodes ; la période sèche ou le déficit en eau se fait sentir, c'est-à-dire durant la période où les précipitations sont inférieures aux quantités d'eau évapotranspirée et où la réserve facilement utilisable (RFU) est la période humide pendant laquelle les précipitations augmentent et interviennent dans la reconstitution des réserves.

### II-5.1. L'évapotranspiration :

Le phénomène d'évapotranspiration intervient dans le cycle hydrogéologique dès le moment où les précipitations, sous forme liquide ou solide, atteignent la surface du sol.

De plus, l'humidité du sol, soit qu'elle provienne des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité de la nappe phréatique constituée directement ou par l'intermédiaire de la couverture végétale un élément important pour l'évaporation.

En hydrologie, on désigne par évaporation l'ensemble des phénomènes ;

qui par un processus spécifiquement physique, transforment l'eau en vapeur.

✓ On distingue, en fait, deux types d'évapotranspiration ;

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée.

- L'évapotranspiration réelle (ETR) qui représente une fraction de l'ETP, et ne tient compte de l'abondance de l'eau qu'à la surface évaporante.

• L'évapotranspiration est donc fonction de :

- ✓ Facteurs physiques ( $T^{\circ}$  de l'air, degré d'insolation)
- ✓ Facteurs géographiques (état de surface évaporante du sol, l'humidité relative de l'air)
- ✓ Facteurs biologiques (espèces végétales, profondeur des racines)

### II- 5.2. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle est la quantité maximale de vapeur d'eau susceptible d'être reprise par l'atmosphère ; si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.

L'ETP est évaluée par plusieurs formules empiriques, et exprimée par la hauteur d'eau en mm. Nous utiliserons la formule de C-W-THORNTHWAITE :

$$ETP = 16 \left\{ 10 \frac{t}{I} \right\}^a * K$$

$$a = \frac{1.6}{100} * I + 0.5$$

ETP : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm)

I : Indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels i

$$I = \sum i \quad \text{avec} \quad i = (t/5)^{1.5}$$

a : Exposant climatique

k : Coefficient de corrélation

**Tableau .10:** Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « C.W.Thornthwaite » à la station de SKIKDA (1994/1995-2014/2015).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Totale
<b>I</b>	11,6	9,5	6,8	5,2	4,4	4,2	5,3	6,4	8,4	10,5	12,4	13	97.8
<b>ETP (mm)</b>	116,3	84,3	47,4	30,5	26,6	24,5	39,8	55,1	88,3	121,4	154,1	153,4	941,6

$$I=97.8 \quad a=2.07$$

### II-5.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

C'est la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie. On l'estime par la formule de (TURC) qui est basée sur les température et les précipitation moyenne annuelles .

$$ETR \text{ (mm/an)} = P / (0,9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle en (mm)

$L = 0,05T^3 + 25 T + 300$  ( Pouvoir évaporant )

P = Précipitations en( mm)

T = température en °C

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle ETR , calculées par la formule de(TURC) sont inscrites dans **Tableau n° 11** ;

**Tableau . 11** : Résultats de l' ETR obtenus par la formule de (TURC) (1994/2015)

Facteurs	P(mm)	T (C°)	L	ETR (mm)
Station de Skikda	803.1	19.6	1166	685

L'estimation de l'évapotranspiration réelle ETR en (mm) est liée au volume de précipitation.

Trois cas peuvent se présenter :

1<sup>er</sup> cas :  $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$

Il ya une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

2<sup>ème</sup> cas :  $P < ETP \Rightarrow ETR = P \pm RFU$

Dans ce cas la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à satisfaction de l'ETP.

3<sup>ème</sup> cas :  $P \leq ETP$  et RFU

Il aura un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

#### II-5.4. Ruissellement (R) :

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration. Il est calculé par la formule de « Tixeront Berkaloff »:

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

Avec :

- **R** : Ruissellement en (mm).
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle en (mm).

Les résultats obtenus par cette formule sont enregistrés dans le tableau suivant :

**Tableau . 12** : Résultats du ruissellement par la formule de «Tixeront Berkaloff» pour la station de SKIKDA (1994/1995-2013/2014).

Paramètres	P (mm)	R (mm)
SKIKDA	803.1	194,7

**II-5.5. Infiltration (I) :**

C'est la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous - sol (G. Castany 1982). Elle est déduite de l'équation fondamentale du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - (R + ETR)$$

Avec :

- **I** : L'infiltration en (mm).
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- **R** : Ruissellement en (mm).
- **ETR** : Evapotranspiration annuelle en (mm) selon la méthode de C. W. Thornthwaite.

**Tableau . 13** : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique.

Paramètres	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
<b>SKIKDA</b>	803.1	194.7	538.6	69.8

En admettant que la réserve facilement utilisable (RFU) est égale à 100 mm (saturation), les Résultats précédemment obtenus nous ont permis d'établir le bilan hydrique, la synthèse finale de l'étude climatique. Le tableau suivant résume le bilan de C.W. Thornthwaite de la station de SKIKDA (1994/1995-2013/2014)

**II-5.6. Analyse du bilan hydrique :**

Lorsque les quantités d'eau provenant des pluies dépassent celles perdues par l'évapotranspiration, le surplus est stocker constituant ce qu'on appelle la réserve facilement utilisable (RFU). Si après le remplissage du stock, il reste un surplus qui s'écoulera (Excédent :  $EXC = P - ETR$ ).

Dès que les pluies sont inférieures à l'ETP, il y a épuisement du stock.

Une fois la RFU est épuisée, c'est le déficit agricole ( $DA = ETP - ETR$ ).

Tableau .14 : le bilan d'eau de C.W THORONTHWAITE –station de Skikda (1994-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Ma r	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P (mm)	70.9	66.7	99.0	143.0	110.0	96.5	69.0	70.9	41.2	20.4	3.0	12.5	803.1
T(C°)	25.2	22.2	17.8	14.8	13.4	13.0	15.0	17	20.4	23.7	26.4	27.2	19.7
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	/
I	11.6	9.6	6.8	5.2	4.4	4.2	5.3	6.4	8.4	10.5	12.4	13.0	97.8
ETP (mm)	116. 3	84.3	47.4	30.5	26.6	24.5	39.8	55.1	88.3	121. 4	154.1	153.4	941.6
ETR (mm)	70.9	66.7	47.4	30.5	26.6	24.5	39.8	55.1	88.3	73.3	3	12.5	538.6
RFU (mm)	00	00	51.6	100	100	100	100	100	52.9	00	00	00	/
Exc (mm)	00	00	00	64.2	83.4	72.0	29.2	15.8	00	00	00	00	264.6
Def (mm)	45.4	17.6	00	00	00	00	00	00	00	48.1	151.1	140.2	402.4

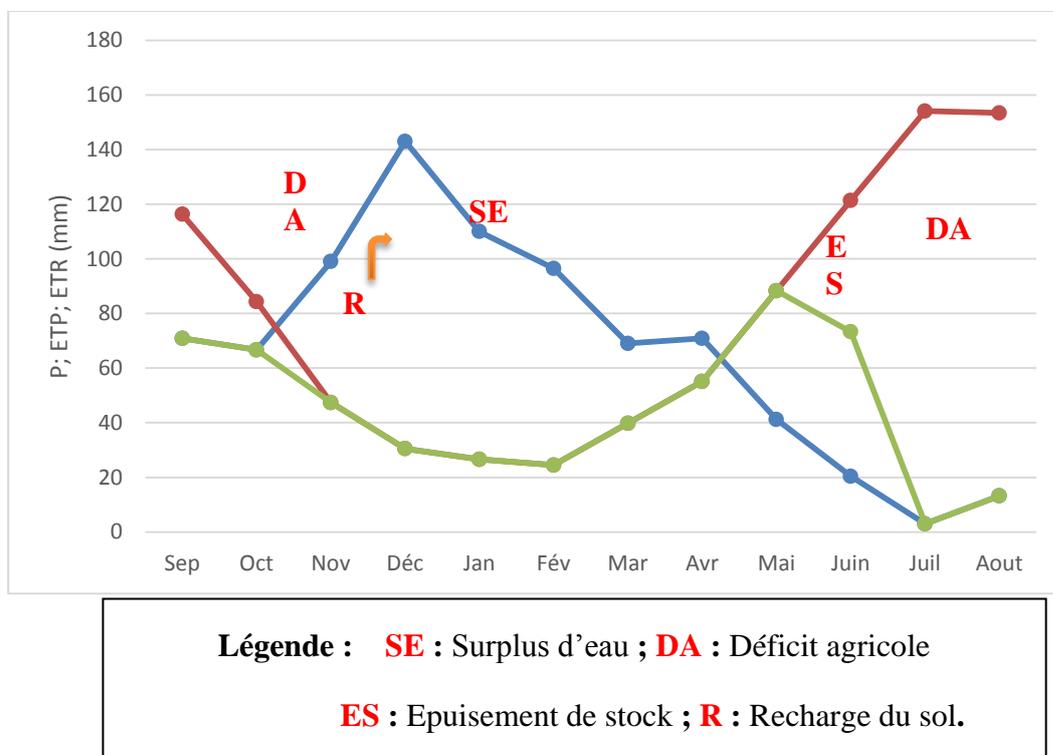


Fig. 11 : Représentation graphique du bilan de THORNTWAIT, station de Skikda (1994-2015)

**II-5.7. Interprétation du bilan hydrique :**

Les résultats obtenus du bilan hydrique de la station de Skikda respectivement illustrés dans les tableaux et les graphiques précédents ,nous ont permis de tirer les observations suivantes :

- ✓ La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de (803.1mm) et une température moyenne annuelle de l'ordre de (19.70 C°).
- ✓ L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois de Juillet (154.1 mm) et son minimum au mois de Février (24.5 mm). L'ETP total est de l'ordre de (941.6) mm.
- ✓ L'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de (538.6 mm).
- ✓ Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné d'un ruissellement et quand elle a la tendance à se diminuer et au point qu'il sera carrément vide, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre.
- ✓ La reconstitution de la RFU atteint son maximum (saturation : 100 mm) au mois de Décembre et reste ainsi jusqu'au mois d'Avril puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de Juin.
- ✓ L'excédent annuel est égal à 264.6 mm

**Conclusion :**

L'ensemble des données climatiques ainsi les résultats obtenus Permettent d'attribuer à la région étudiée un climat de type méditerranéen caractérisé par deux périodes distinctes :

- Une période pluvieuse est humide s'étalant du mois de Septembre à Mai.
- Une période sèche est chaude allant de Mai à septembre.

L'analyse du bilan hydrique fait ressortir les remarques suivantes :

Dans la région d'EL-Hadaiek , le déficit intervient durant la période de juin jusqu'au mois d'octobre Le mois de novembre correspond au début de la période de reconstitution de la réserve facilement utilisable qui atteint son maximum durant la période qui s'étale du mois de Décembre au mois d'avril, et se sont les seuls mois ou l'écoulement intervient avec un maximum au mois de janvier.

*Hydrochimie*

## Introduction :

Toute étude hydrogéologique doit être complétée par une étude du chimisme de l'eau qui consiste à donner un aperçu sur la qualité des eaux de surface et souterraine, d'établir la relation géologie-chimie et de déterminer les différents faciès des eaux de la plaine D'El-Hadaeik.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques a pour but d'effectuer des comparaisons spatio-temporelles des différents paramètres de potabilité des eaux, ainsi que l'origine de ces éléments.

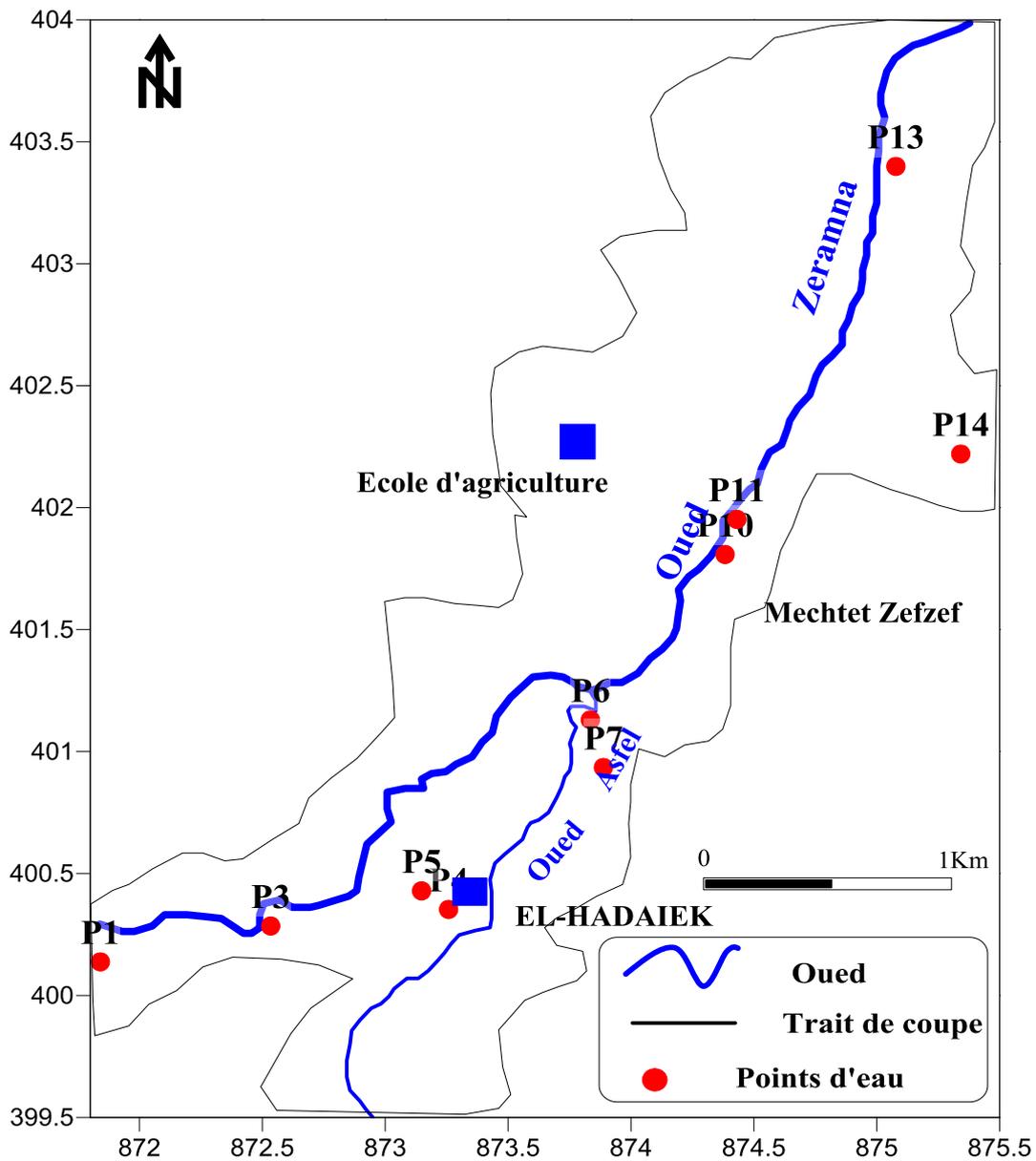
## III-2. Etude de la chimie des eaux :

### Matériels et méthodes :

Les points de prélèvements ont été choisis, de façon à ce que tous les points de l'Oued Zeramna soient représentés. (Figure 12)

La désignation des points de prélèvements pris en considération dans cette étude comprend 10 puits (P13, P6, P3, P7, P14, P1, P4, P5, P10, et P11).

- Parmi les paramètres physiques analysés, on a la Température, le pH, la Conductivité électrique et la minéralisation.
- Les paramètres chimiques :
  - ✓ **Les cations:**  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  et  $K^+$
  - ✓ **Les anions:**  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$  et  $SO_4^{2-}$
  - ✓ **Les éléments de pollution:**  $NO_2^-$ ,  $PO_4^{3-}$  et  $NH_4^+$



**Fig.12 :** Carte d’inventaire des points de prélèvement (puits) d’eau dans la plaine

D’El-Hadaiek (Mars 2016)

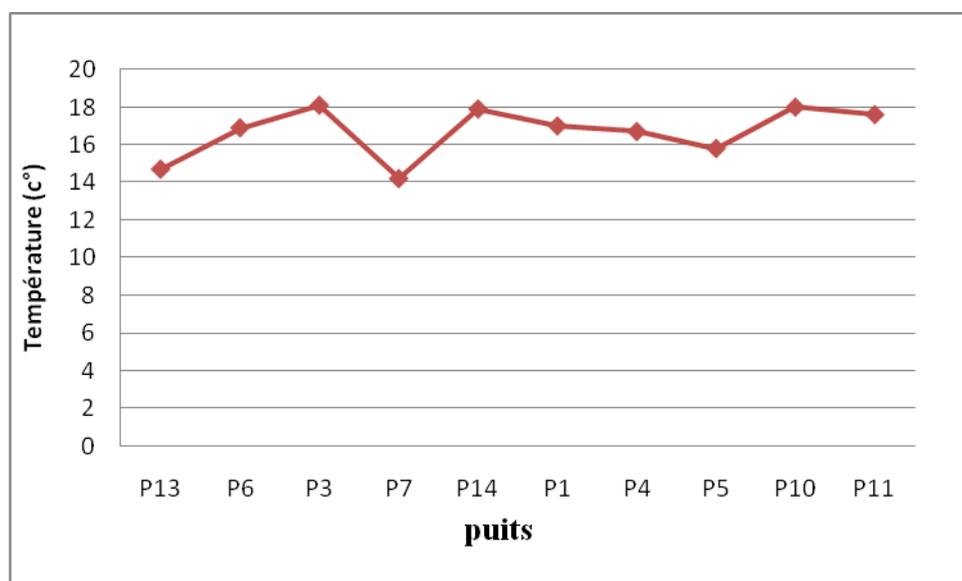
### III-3. Etude des paramètres analysés :

#### III-3.1. Paramètres physiques :

##### III-3.1.1. La Température (T) :

La température de l'eau est un paramètre important car elle permet de déterminer l'utilisation des eaux pour le confort des usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de la température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

D'après la courbe (Fig. n°13), La température des eaux varie entre 14°C et 18 °C



**Fig.13 :** Evolution de la température dans la nappe superficielle de la plaine D'El-Hadaiek en (°C) ( Mars 2016)

##### III-3.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

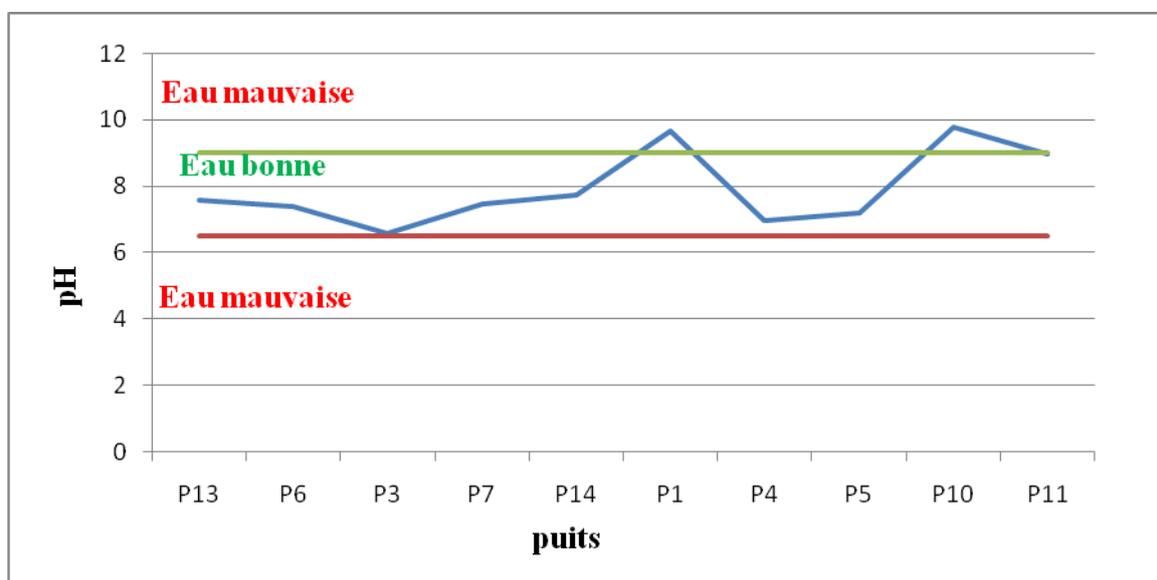
Le pH mesure la concentration en ion  $H^+$  de l'eau et conditionne les équilibres physico-chimiques, il dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Castany, Margat 1977). Il détermine aussi l'acidité ou l'alcalinité d'une eau.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Il doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH - mètre ou par colorimétrie.

**Tableau 15:** classification des eaux selon le pH.

(normes de l'OMS)

pH	Type d'eau	points correspondants
$6.5 \geq \text{pH} \leq 9$	Eau bonne	P13; P6 ; P3; P7; P14; P4; P5
$\text{pH} < 6.5$	Eau mauvaise	/
$\text{pH} > 9$	Eau mauvaise	P1; P10; P11

**Fig.14 :** Evolution du pH dans la nappe superficielle de la plaine D'El-Hadaiek

(Mars 2016).

Le pH de la zone d'étude varie entre 6.60 et 9.8. (Figure 14)

Le pH dépasse le 9 dans le puits P1 ; P10 ; P11 car ils sont près du oued Zeramna.

### III-3.1.3. Conductivité électrique (CE( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )) :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité des sels

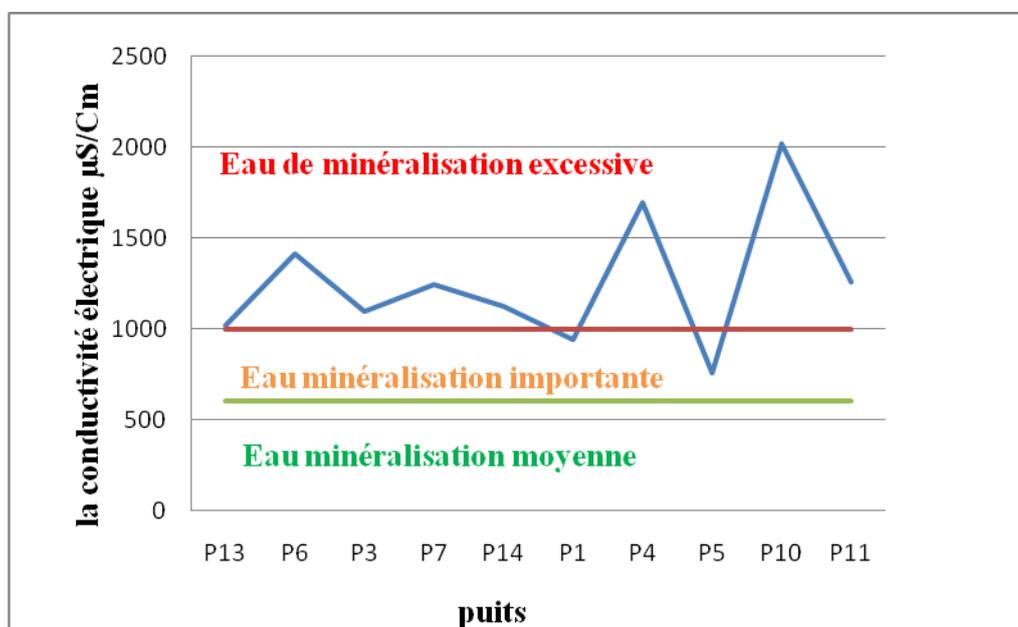
dissous dans l'eau. Elle est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente.

Les résultats de mesure doivent être présentés en termes de conductivité équivalente à 25°C.

**Tableau.16:** classification de la minéralisation des eaux.

(normes de l'OMS)

Conductivité électrique en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Type d'eau	points correspondants
<600	Eau de minéralisation moyenne	/
600<CE<1000	Eau de minéralisation importante	P1; P5
CE>1000	Eau de minéralisation excessive	P13; P6; P3; P7; P14; P4; P10; P11



**Fig.15 :** Evolution de la conductivité électrique dans la nappe superficielle de la plaine D'El-Hadaiek (Mars 2016)

Ainsi le Tableau n°17 nous permet de dire que la majorité des points d'eaux sont caractérisés par une minéralisation excessive.

#### III-3.1.4. La dureté totale TH (°F) :

Elle exprime la teneur de l'eau en sels de calcium et de magnésium. Dans la région d'étude, la dureté totale est très variable allant de 25°F à 98°F.

70 % des puits analysés représentent une dureté moyenne < 50°F.

#### III-3.2. Paramètres chimiques :

##### III-3.2.1. Normes et qualités des eaux :

Dans le but de faire une approche qualitative des résultats des analyses chimiques effectuées, on a procédé les normes OMS (2011), (Organisation Mondiale de la Santé) de potabilité pour chacun des paramètres représentés dans les différentes courbes.

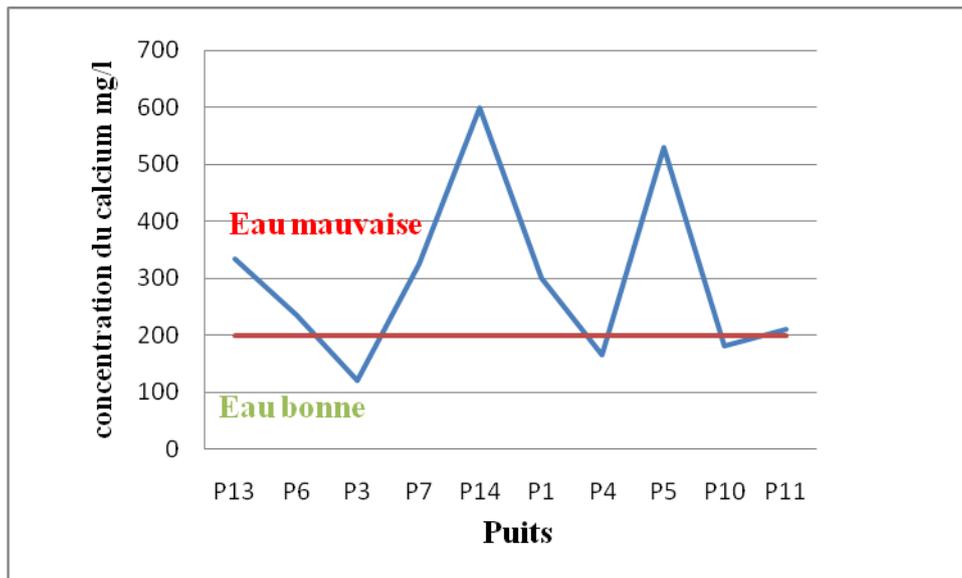
##### III-3.2.1.A- Les chlorures (Cl<sup>-</sup>) :

Les teneurs en chlorures sont importantes au niveau des points P14, P5 (603 mg/l ,522 mg/l respectivement) cette concentration des chlorures due probablement lessivage des grés et des argiles numidiens contenant des sels dissous ou ces eaux reçoivent tous les rejets des eaux usées.

**Tableau 17** : classification des eaux selon la teneur en Chlorure.

(normes de l'OMS)

Chlorure mg/l	Type d'eau	Points correspondants
0 < Cl <sup>-</sup> < 200	Bonne	P3, P4 et P10
Cl <sup>-</sup> > 200	Mauvaise	P13, P6, P7, P14, P1, P5, et P11



**Fig.16 :** Variation de la teneur en Chlorures des eaux souterraines de la plaine D’El-Hadiék en( mg/l)

Les valeurs minimales concernant les chlorures sont observées au niveau des trois (03) points (P3, P4 et P10) ou les teneurs ne dépassent pas les 200 mg/l.

La Fig. n°16 et le Tableau n°18, montrent que la plus part des prélèvements des eaux souterraines de la région d’étude sont des eaux de mauvaises qualités.

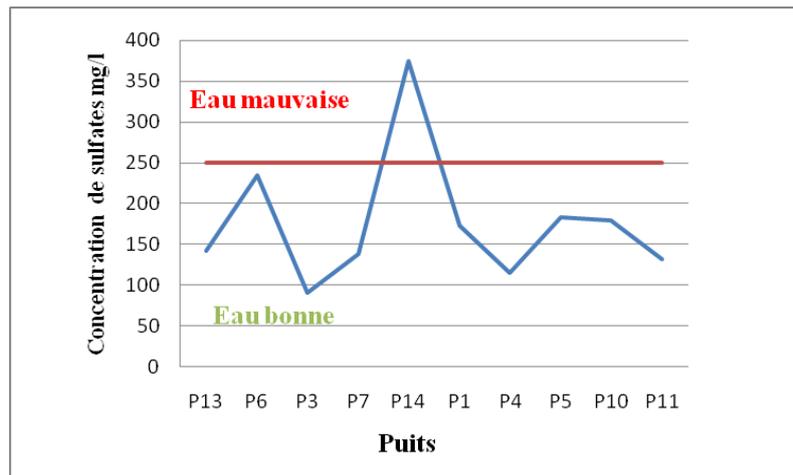
**III-3.2.1.B. Les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>):**

Leur présence est souvent d’origine naturelle, les teneurs en sulfates des eaux sont liées principalement à la nature des terrains traversés.

**Tableau 18:** classification des eaux selon la teneur en Sulfate.  
(normes de l’OMS)

Sulfate mg/l	Type d’eau	Points correspondants
0 < SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> < 250	Bonne	P13 P6, P3, P7, P1, P4, P5, P10 et P11
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> > 250	Mauvaise	P14

En ce qui concerne les classes établies pour les sulfates, le Tableau n°19 met en évidence les deux classes retenues pour cette classification.



**Fig .17:** Variation de la teneur en sulfates des eaux souterraines de la plaine  
D'El-Hadiék en( mg/l)

Le Tableau n°19 et la Fig. n°17 montrent que la majorité des points sont de bonne qualité ou la teneur en sulfate est inférieure à 250 mg/l sauf le point P14 (375 mg/l) est marqué comme de mauvaise qualité. Cette concentration provient de la dissolution des sulfates de calcium et du magnésium ( $\text{CaSO}_4$  et  $\text{MgSO}_4$ ) incluse dans des inclusions des alluvions.

### III-3.2.1.C. Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ):

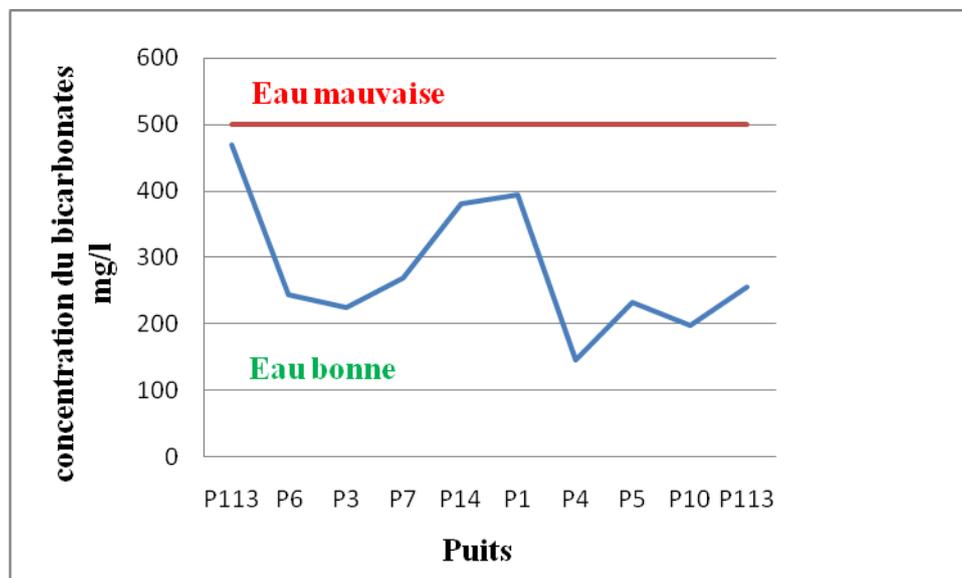
La teneur des bicarbonates et suivant leurs normes, nous donne les deux Classes de ces eaux pour l'irrigation (Tableau n° 20), leur origine soit des marno-gypseux ou d'origine métamorphique.

**Le Tableau.19 :** classification des eaux selon la teneur en Bicarbonate

(normes de l'OMS).

Les bicarbonates (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
$0 < \text{HCO}_3^- < 518$	Bonne	P13 ; P6 ; P3 ; P7 ; P14 ; P1 ; P4 ; P5 ; P10 ; P11
$\text{HCO}_3^- > 518$	Mauvaise	/

Le Tableau n° 20, montre qu'on a le type d'eau correspondant aux eaux bonnes représentant tout les points analysés où la teneur en bicarbonate ne dépasse pas les 500 mg/l.



**Fig. 18:** Variation de la teneur en bicarbonates des eaux souterraines de la plaine

D'El-Hadiék en mg/l

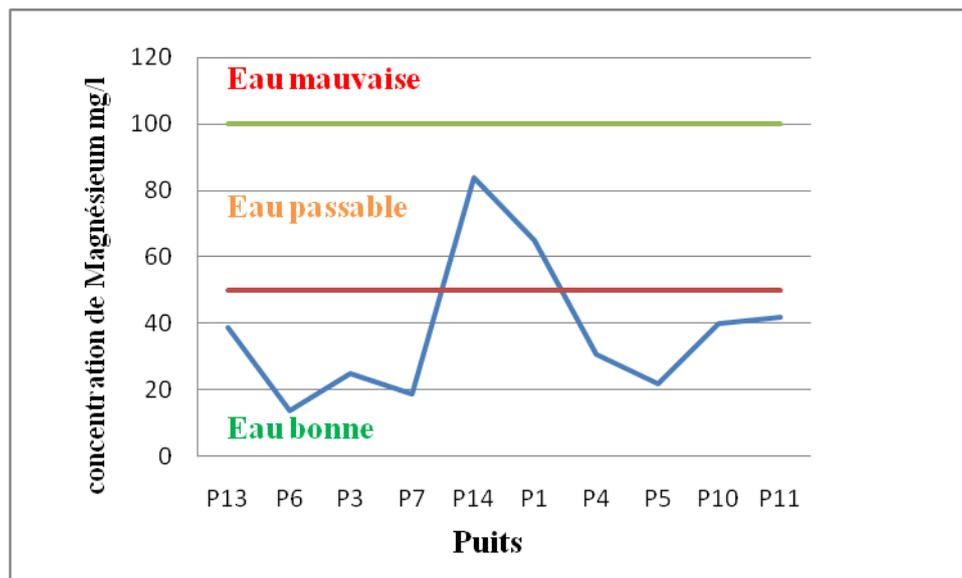
#### III-3.2.1.D. Le magnésium ( $Mg^{2+}$ ):

Le magnésium peut avoir comme origine ou des sulfates de magnésium. Il peut aussi se trouver en abondance dans les roches carbonatées (dolomie).

**Le Tableau .20 :** classification des eaux selon la teneur en Magnésium.

(normes de l'OMS)

Magnésium mg/l	Type d'eau	Points correspondants
$0 < Mg^{2+} < 50$	bonne	P13 ; P6 ; P3 ; P7 ; P4 ; P5 ; P10 ; P11 ;
$50 < Mg^{2+} < 100$	Passable	P14; P1
$Mg^{2+} > 1000$	Mauvaise	/



**Fig. 19:** Variation de la teneur en magnésium des eaux souterraines de la plaine

D'El-Hadiék en mg/l

Dans le Tableau n°21 et la Fig. n°19 huit (8) points représentent des eaux de bonnes qualités ou la teneur en magnésium est inférieure à 50 mg /l, et trois (2) points correspondant à des eaux passable, pour lesquelles la teneur en magnésium est comprise entre 50 et 100mg/l.

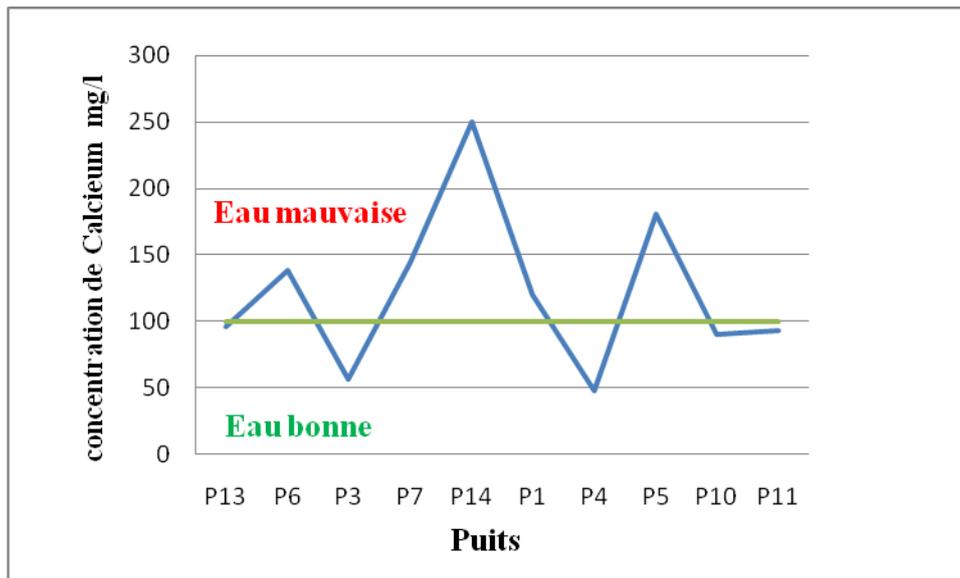
### III-3.2.1.E. Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ):

La teneur de l'eau en calcium provient généralement des roches ou bien les roches métamorphique (marbre composé du calcite  $\text{CaCO}_3$ ).

**Tableau .21:** classification des eaux selon la teneur en Magnésium

(normes de l'OMS).

Le calcium (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
$0 < \text{Ca}^{2+} < 100$	Bonne	P14 ; P7 ; P1 ; P5 ; P6
$\text{Ca}^{2+} > 100$	Mauvaise	P3; P13 ;P4 ;P10 ;P11



**Fig. 20 :** Variation de la teneur en calciums des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l.

Les valeurs maximales concernant le calcium sont observées au niveau de cinq (05) points (P14 ; P7 ; P1 ; P5 ; P6) ou les concentrations varient entre 115 mg/l et 250 mg/l. Par contre celles minimale sont enregistrées aux point P3 avec une valeur d'ordre 52mg/l.

La Fig. n°20 et le Tableau n°22, montrent que la majorité des points d'eaux de la plaine d'El-Hadiék sont des eaux de mauvaise qualité.

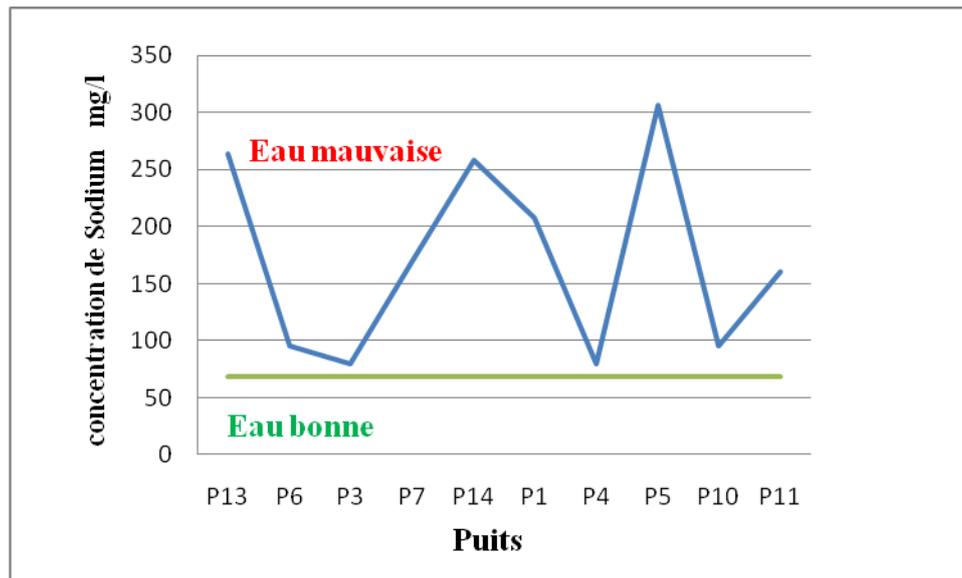
### III-3.2.1.F. Le sodium ( $\text{Na}^+$ ):

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans les eaux d'irrigations. Cet élément ayant plusieurs origines, à savoir, l'altération des roches et du sol, les Intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

**Tableau .22 :** classification des eaux selon la teneur en Sodium.

(normes de l'OMS)

Le sodium (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
$0 < \text{Na}^+ < 69$	Bonne	/
$\text{Na}^+ > 69$	Mauvaise	P3 ; P4 ; P10 ; P11 ; P13 ; P6 ; P7 ; P14 ; P5 ; P6



**Fig. 21 :** Variation de la teneur en Sodium des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l.

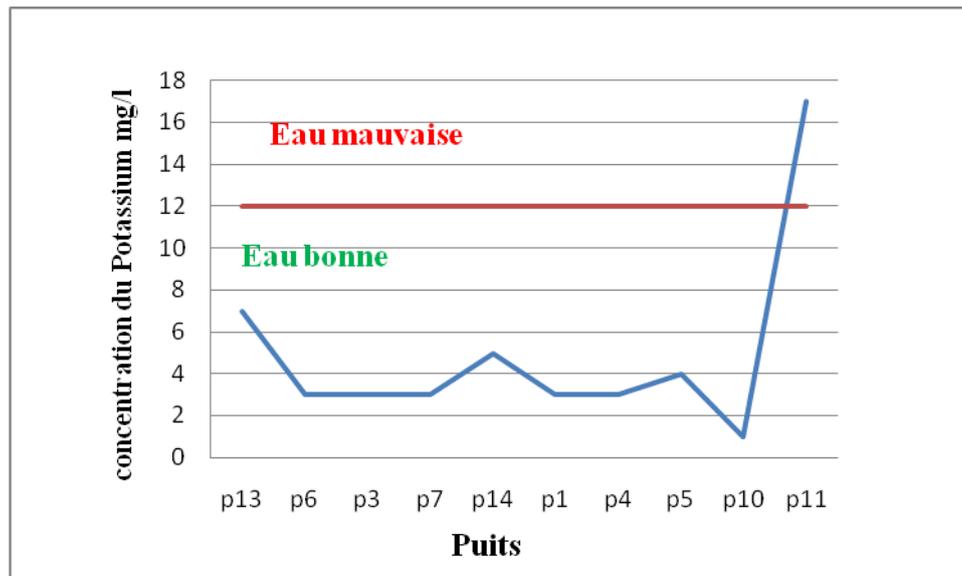
La Fig. n°21 et le Tableau n°22, montrent que pour le sodium, tous les points Analysés des eaux appartiennent à la mauvaise classe. Les valeurs les plus faible sont observées au point P 3et P4 avec une valeur compris entre 52 mg/l et 54 mg/l, par contre celles maximale sont enregistrées au niveau du point P5avec une valeur 308 mg/l.

#### II-3.2.1.G. Le potassium ( $K^+$ ) :

L'origine du potassium est due à l'altération météorique et érosion des minéraux comme le feldspath qui est composées de silice, d'alumine et du potasse et qui entrent pour une large part dans la constitution des roches éruptives (granits, gneiss...), il proviens peut être a cause de lessivage des sols contenant des engrais ,ou de l'invasion d'eau salée (eau de mer)

**Tableau.23 :** classification des eaux selon la teneur en Potassium.  
(normes de l'OMS)

Le potassium mg/l	Type d'eau	Points correspondants
$0 < K^+ < 12$	Bonne	P13 P6, P3, P7, P1, P4, P5, P10 et P11
$K^+ > 12$	Mauvaise	P14



**Fig. 22:** Variation de la teneur en Potassium des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l.

le Tableau n°23 et la Fig.22 montrent que la majorité des points d'eau sont de bonne qualité ou la teneur en sulfate est inférieure à 12 mg/l sauf le point P14.

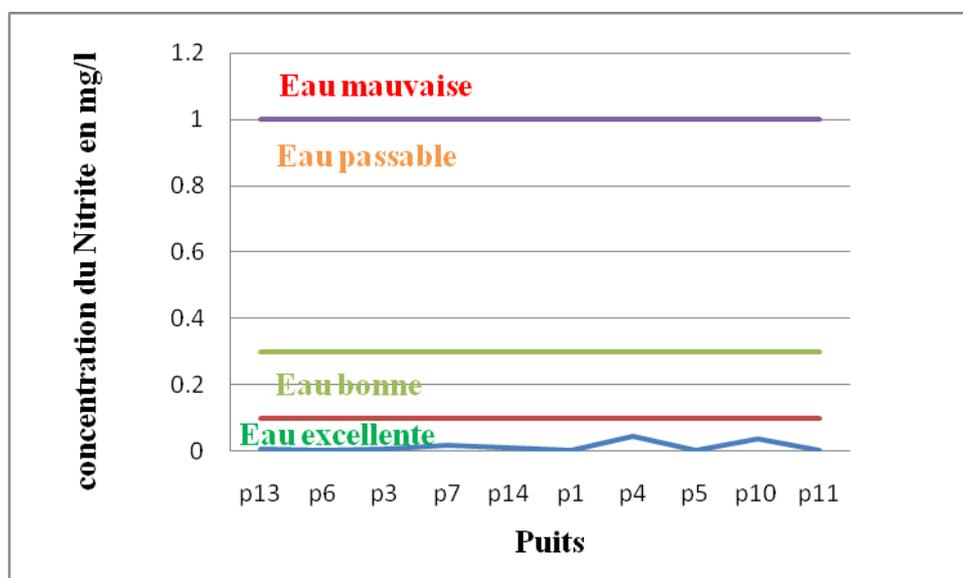
### III-3.2.1.H .Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ):

Les fertilisants agricoles, le fumier, les rejets domestiques d'eaux usées et la décomposition d'organismes végétaux et animaux figurent parmi les sources les plus importantes de nitrites.

Compte tenu de sa très grande solubilité dans l'eau, les sels de nitrites peuvent migrer facilement dans le sol et se retrouver dans les eaux souterraines servant de sources d'approvisionnement en eau potable. Les nitrites sont responsables des risques de méthémoglobinémie aiguë qui s'observent principalement chez le nourrisson

**Tableau.24** : classification des eaux selon la teneur en Nitrites  
(normes de l'OMS).

Nitrite en(mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
$0 < \text{NO}_2^- < 0.1$	Excellente	P13 P6, P3, P7, P1, P4, P5, P14 ;P10 et P11
$0.1 < \text{NO}_2^- < 0.3$	Bonne	/
$0.3 < \text{NO}_2^- < 1$	Passable	/
$\text{NO}_2^- > 1$	Mauvaise	/



**Fig. 23** : Variation de la teneur en Nitrites des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiek en mg/l.

-Les échantillons montrent des teneurs relativement faibles en nitrites mais qui ne dépassent pas la norme admise par l'OMS.

### III-3.2.1.I. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) :

La présence de ( $\text{NH}_4^+$ ) dans les eaux peut s'expliquer par :

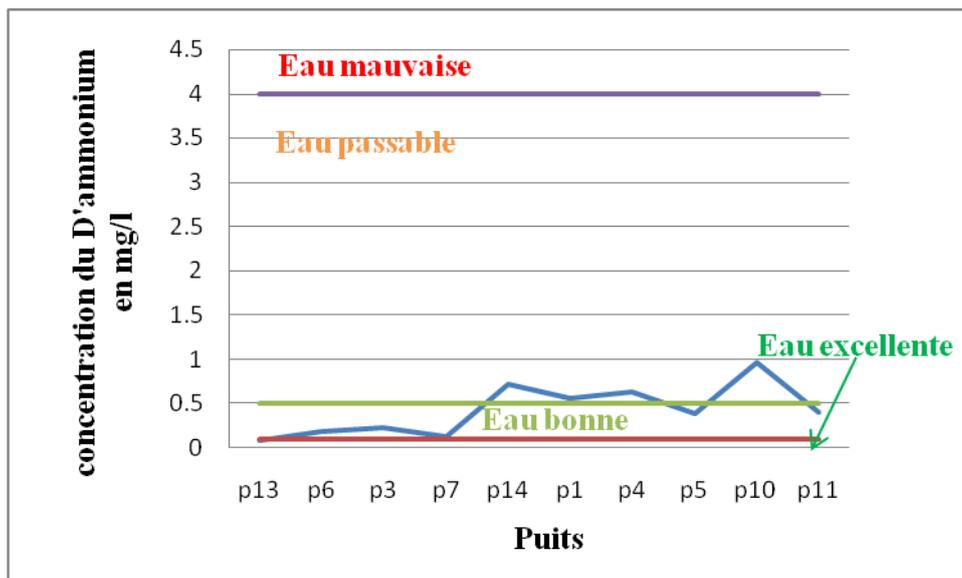
- ✓ Des rejets d'affluents domestiques et industriels.
- ✓ De la réduction naturelle des  $\text{NO}_2^-$ .
- ✓ De la réduction naturelle des  $\text{NO}_3^-$ , par les bactéries ou par les ions ferreux.

- ✓ De la dégradation incomplète de la matière organique.

L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) peut modifier le goût de l'eau et provoquer la prolifération des bactéries nitrifiantes.

**Tableau.25:** classification des eaux selon la teneur en L'ammonium  
(normes de l'OMS)

L'ammonium en(mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
$0 < \text{NH}_4^+ < 0.1$	Excellente	P13
$0.1 < \text{NH}_4^+ < 0.5$	Bonne	P6; P3 ;P7;P5;P11
$0.5 < \text{NH}_4^+ < 4$	Passable	P14 ; P 1 ;P4 ;P10
$\text{NH}_4^+ > 4$	Mauvaise	/



**Fig. 24:** Variation de la teneur en Ammonium des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l.

la Fig. n°24 et le Tableau n°25, montrent que du point de vue Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), les points de prélèvement sont de qualité : excellente, bonne et passable.

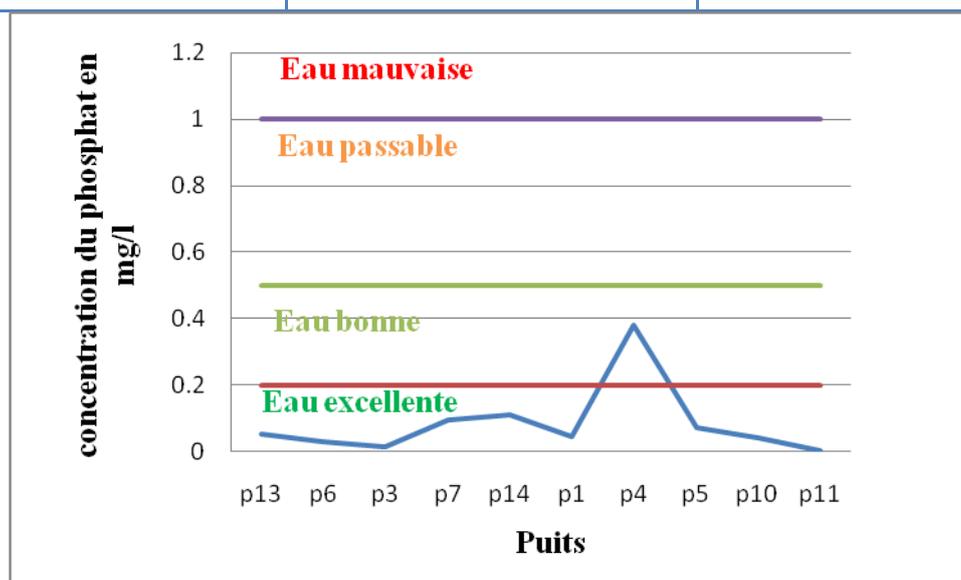
### III-3.2.1.J. Les phosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) :

Le phosphore n'est pas considéré comme problématique pour le traitement de l'eau bien que les normes aient été établies pour sa consommation. Le phosphore en excès est à l'origine de l'eutrophisation, dont la forme la plus courante est la prolifération d'algues planctoniques

qui donnent une couleur verte ou brune à l'eau. Il provient essentiellement des rejets domestiques (en raison d'utilisation de lessives phosphatées) et industrielles. D'après le tableau n°26 et la figure n°25 tous les points d'eau échantillonnés sont de excellente et bonne qualité.

**Tableau.26** : classification des eaux selon la teneur en phosphates.  
(normes de l'OMS)

phosphates en(mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
$0 < PO_4^{2-} < 0.2$	Excellente	P13 P14 ; P 1 ; P10 ; P6; P3 ; P7;P5;P11
$0.2 < PO_4^{2-} < 0.5$	Bonne	P4
$0.5 < PO_4^{2-} < 1$	Passable	/
$PO_4^{2-} > 1$	Mauvaise	/



**Fig. 25** : Variation de la teneur en phosphates des eaux souterraines de la plaine D'El-Hadiék en mg/l.

### III-3.2.2. Détermination du faciès chimique:

Dans l'aquifère, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches. L'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à

caractériser un faciès hydrochimique. L'interprétation des analyses chimiques montre les faciès chimiques dans le Tableau n° 27 ci-dessous :

**Tableau.27:** Répartition des faciès chimiques dans la nappe superficielle

(DHW la wilaya skikda 2016)

Les puits	Formules ioniques	Faciès chimiques correspondants
P13	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} - (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > Mg^{2+}$	Chloruré- Sodique
P6	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} - Ca^{2+} > (Na^+ + K^+) > Mg^{2+}$	Chloruré- Calcique
P3	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} - (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > Mg^{2+}$	Bicarbonaté-Sodique
P7	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} - (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > Mg^{2+}$	Chloruré- Sodique
P14	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- - Ca^{2+} > (Na^+ + K^+) > Mg^{2+}$	Chloruré- Calcique
P1	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} - (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > Mg^{2+}$	Chloruré- Sodique
P4	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- - (Na^+ + K^+) > Mg^{2+} > Ca^{2+}$	Chloruré- Sodique
P5	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- - (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > Mg^{2+}$	Chloruré- Sodique
P26	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} - (Na^+ + K^+) > Mg^{2+} > Ca^{2+}$	Chloruré- Sodique
P11	$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} - (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > Mg^{2+}$	Chloruré- Sodique

Afin de voir la fiabilité des analyses chimiques, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse qui n'a pas dépassé les 5%.

Les formules ioniques ont permis d'établir le faciès chimique pour chaque analyse (Tableau n° 27).

Les eaux étudiées ont été classé en trois (03) faciès chimiques, le chloruré- sodique représentant 70 %, le chloruré-calcique 20 % et le bicarbonaté-sodique 10%.

On note que le faciès chimique dominant est le chloruré-sodique.

- Concernant les chlorures, leur provenance géologique peut être due à la dissolution des chlorures de sodium des alluvions salifères rencontrés dans les formations triasiques évaporitiques (ce n'est pas notre cas).
- La deuxième possibilité, de leur provenance à savoir une origine des eaux usées

Domestiques est à exclure.

- La troisième possibilité, à savoir une provenance des pompages exagérés en bordure de mer n'est pas à exclure.

Pour le sodium, sa provenance est argileuse.

### **III-3.2.3. Représentation graphique des analyses chimiques :**

Pour une bonne visualisation des résultats, on a représenté ces derniers sur les diagrammes de Stiff, Piper et Schoeller-Berkaloff .

#### **III-3.2.3.A. Diagramme de Stiff :**

Le diagramme de Stiff donne une interprétation claire sur les faciès chimiques cités dans le Tableau n° 27.

En plus cette représentation permet un archivage graphique des analyses chimiques. Par ailleurs on aperçoit une forte extension des ions (Cl<sup>-</sup>), et (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>) dans les puits

(P13, P7, P14, P1, P5).

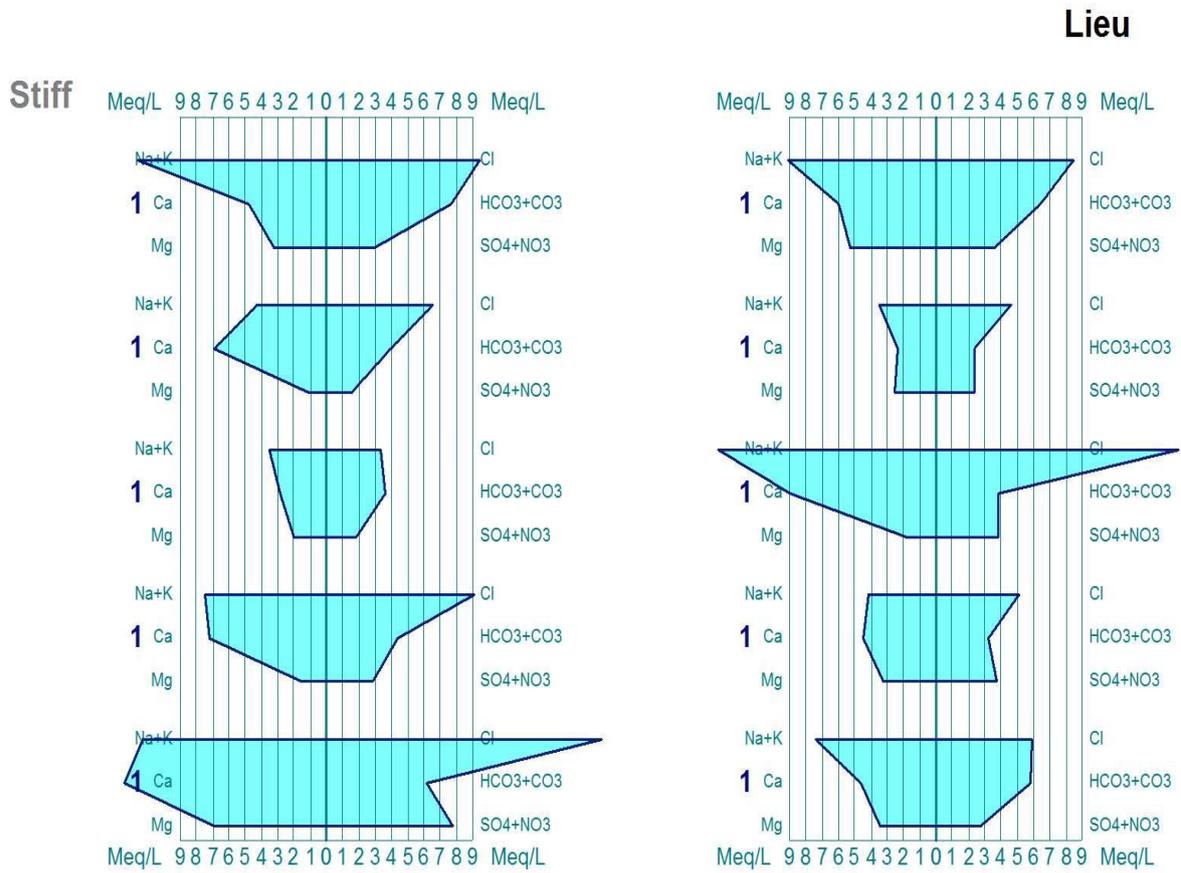


Fig. 26 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Stiff .

III-3.2.3.B. Diagramme de Piper :

Pour une bonne interprétation de cette représentation, on est obligé de bien expliquer la répartition des éléments sur les deux triangles, celui des cations et celui des anions, qui expliquent le losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs (Fig. n°27).

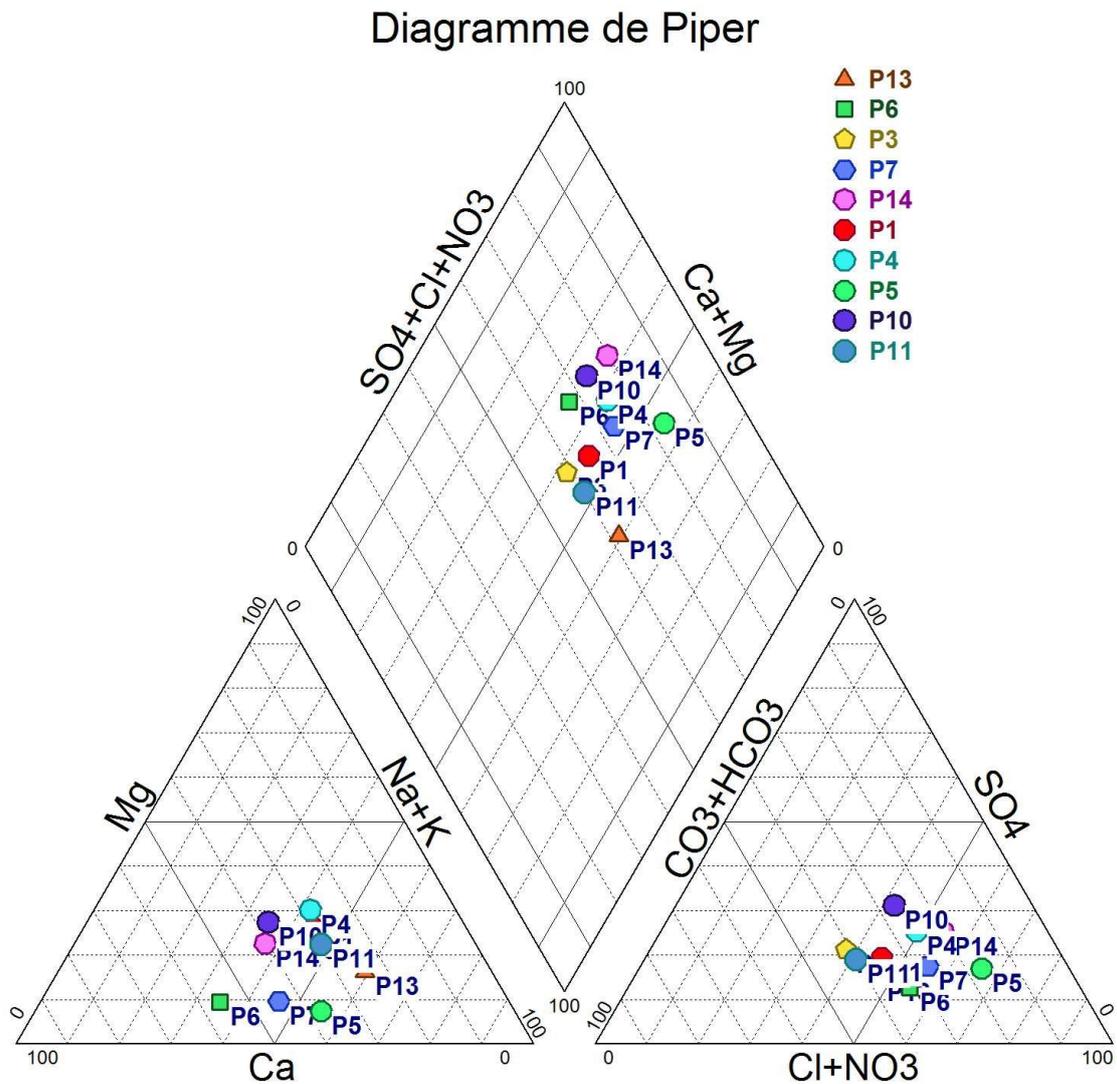


Fig. 27: Représentations graphiques des faciès chimiques sur le diagramme de Piper.

❖ **Triangle des cations**

- ✓ **Pôle calcique** : Teneurs apparemment moyennes ne dépassant pas les 50% sauf le point P6.
- ✓ **Pôle magnésien** : La majorité des points se concentrent entre 40% et 80%.
- ✓ **Pôle sodique** : Teneurs variant entre 30% et 60%.

❖ **Triangle des anions**

- ✓ **Pôle chloruré** : On constate que la teneur des chlorures varie entre 60% et 90% dans la majorité des points.
- ✓ **Pôle bicarbonaté** : tous les points se concentrent entre 10% et 40%.
- ✓ **Pôle sulfaté** : Teneurs variant entre 30% et 60%.

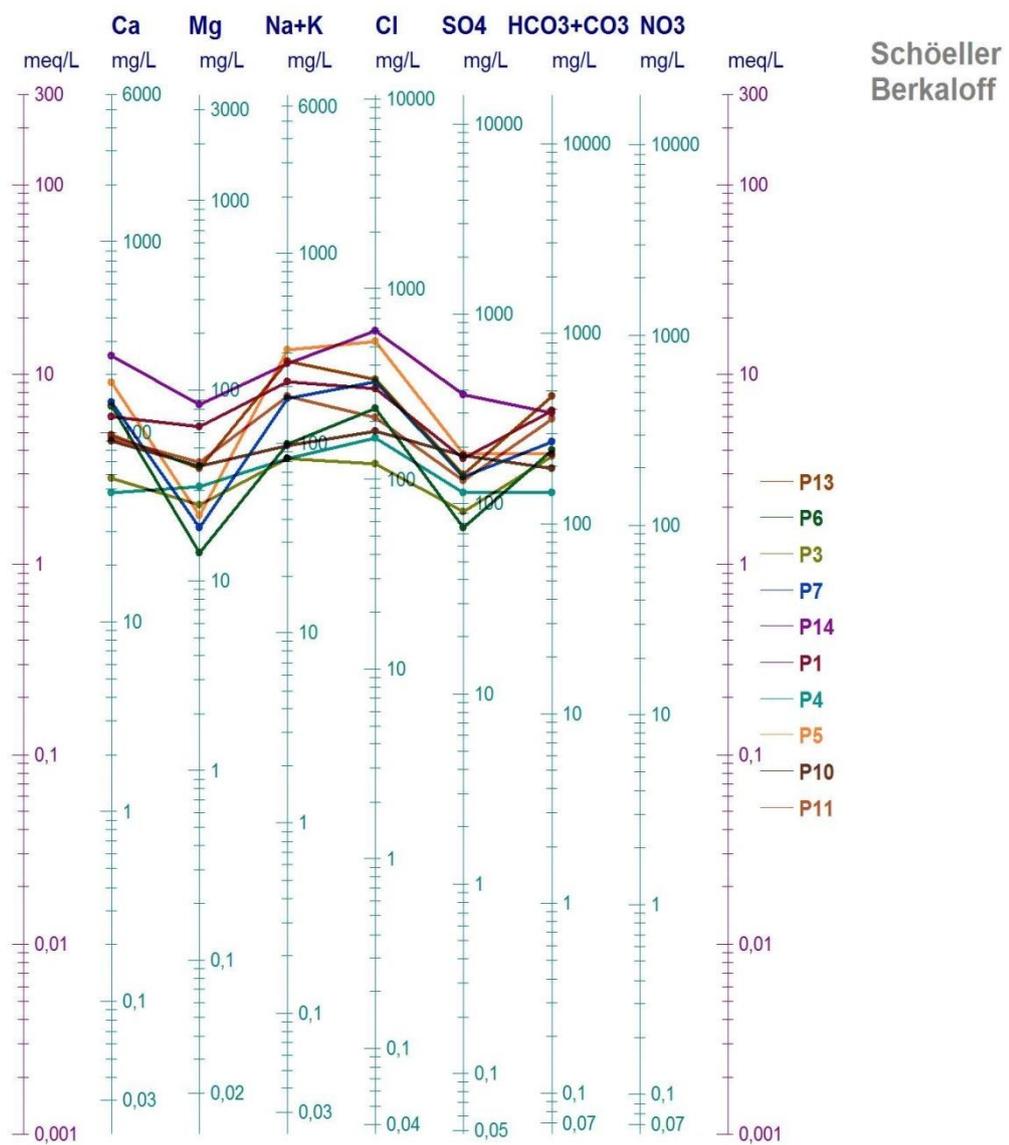
**III-3.2.3.C. Diagramme de Schoeller-Berkaloff :**

Dans ce diagramme on reporte directement les résultats des analyses chimiques en mg/l (Fig. n°28).

**Tableau .28:** Interprétation des diagrammes de Schoeller- Berkaloff

Faciès chimique	Les échantillons	Pourcentage
<b>Chloruré-Sodique</b>	P13,P7,P1,P4,P5,P11	70 %.
<b>Chloruré-Calciq</b>	P6,P14,P10	20 %.
<b>Bicarbonaté-Sodique</b>	P3	10 %.

D'après le diagramme de Schoeller- Berkaloff, on remarque que le faciès chimique dominant est le chloruré - sodique avec le pourcentage de 70% (Tableau n°29).



**Fig. 28:** Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoeller –Berkaloff

### III.2.3.4. Aptitude des eaux pour l'irrigation :

Les eaux de la région d'étude sont destinées à l'irrigation, c'est pour cela que nous sommes obligés de classer ces eaux, en utilisant le diagramme de Wilcox Le S.A.R est défini comme une mesure du pouvoir de remplacement des ions  $Mg^{2+}$   $Ca^{2+}$  par  $Na^+$ .

#### III-3.2.4.1. Principe du diagramme :

Le S.A.R (Sodium Adsorption Ratio) est donné par la formule :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Où :  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  sont exprimés en (méq/l).

Les valeurs de SAR sont représentées en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, cette dernière permet une estimation de la minéralisation des eaux, elle est exprimée en ( $\mu s/cm$ ).

**Tableau.29:** Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R (Daifalah Tarek 2008)

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau à utilisation sans danger pour l'irrigation pour la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels
3	Admissible	C3-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C4-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions

Sur le diagramme de Wilcox (Fig. n°29), on peut distinguer les classes des eaux étudiées pour les 10 puits, les résultats sont reportés dans le Tableau n°30 :

**Tableau.30:** Classe des qualités des eaux pour l'irrigation.

Classe	Nombre d'échantillon	puits	Qualité (type d'eau)
C1-S1	0	/	Excellente
C2-S1 C2-S2	0	/	Bonne
C3-S1 C4-S2 C3-S3	8	P13,P6,P13,P14,P1,P4,P5 ,P11	Admissible
C4-S1 C4-S2 C4-S3	2	P7,P10	Médiocre
C4-S1 C4-S2 C3-S3	0	/	Mauvaise

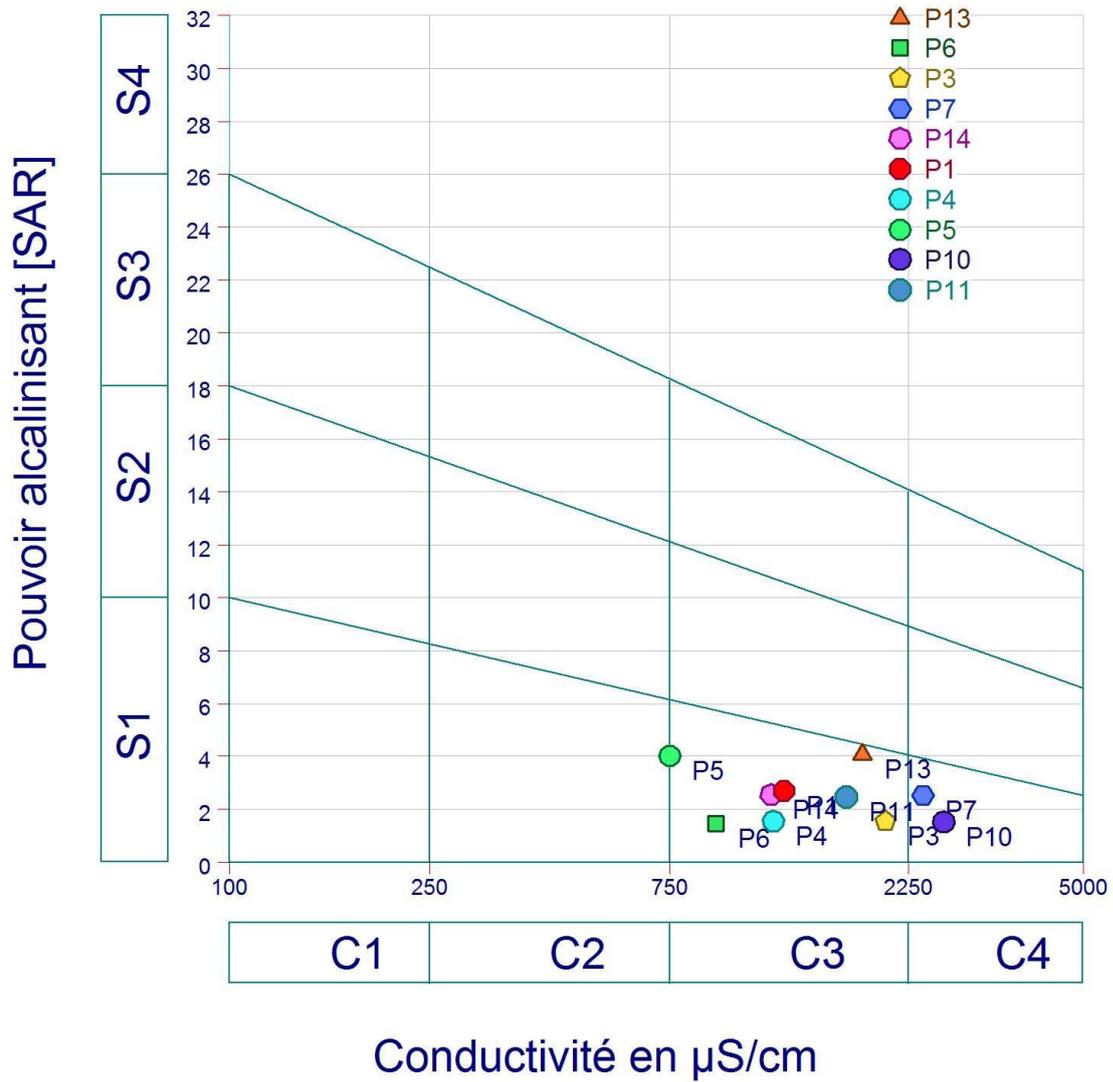


Fig. 29 : Représentation graphique de l'aptitude des eaux à l'irrigation

**Conclusion :**

L'étude hydrochimique de la plaine d'El-Hadaiek nous a permis de mettre en évidence plusieurs constatations :

- Les teneurs en chlorures montrent que la majorité des eaux étudiées sont de qualité mauvaise,
- Les eaux de la région d'étude sont très minéralisées ce qui indique qu'il y a un fort lessivage du matériau des couches superficielles argiles, sable et gravier.
- les concentrations en magnésium, sulfates et bicarbonates sont de bonne qualité.
- les teneurs en potassium et calcium montrent que la majorité des eaux sont de bonne qualité par contre les concentrations en sodium sont de type mauvaise.
- Concernant les teneurs en nitrites, ammonium et phosphate montrent que tous les eaux prélevées sont d'excellente à bonne qualités.
  
- Il en ressort pour les eaux souterraines un faciès chimique dominant le chloruré-sodique avec un pourcentage de 70 %.
  
- Les trois représentations graphiques (Stiff, Piper et Schoeller Berkloff) effectuées sur les résultats des analyses chimiques ont données le même résultat et on pense que le diagramme de Stiff est le plus significatif, du moment qu'il permet de faire une comparaison entre les analyses et aussi permet un archivage graphique des résultats d'analyses.
- Concernant l'aptitude des eaux pour l'irrigation, les points analysés peuvent être subdivisés en deux (2) classes : la classe admissible regroupant neuf (8) puits et la classe médiocre correspondant à deux (2) puits.

En général les eaux de notre zone d'étude sont admissibles pour l'irrigation.

### Introduction :

L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère formé par le remplissage alluvial.

L'objectif est de définir l'allure générale de l'écoulement de la nappe, de voir le mécanisme de l'évolution du niveau piézométrique et de donner une idée sur les sources d'alimentation aussi bien que les différents points de sortie.

Et donner une estimation et évaluation de la réserve de l'aquifères.

### VI-2. Inventaire des forages et puits:

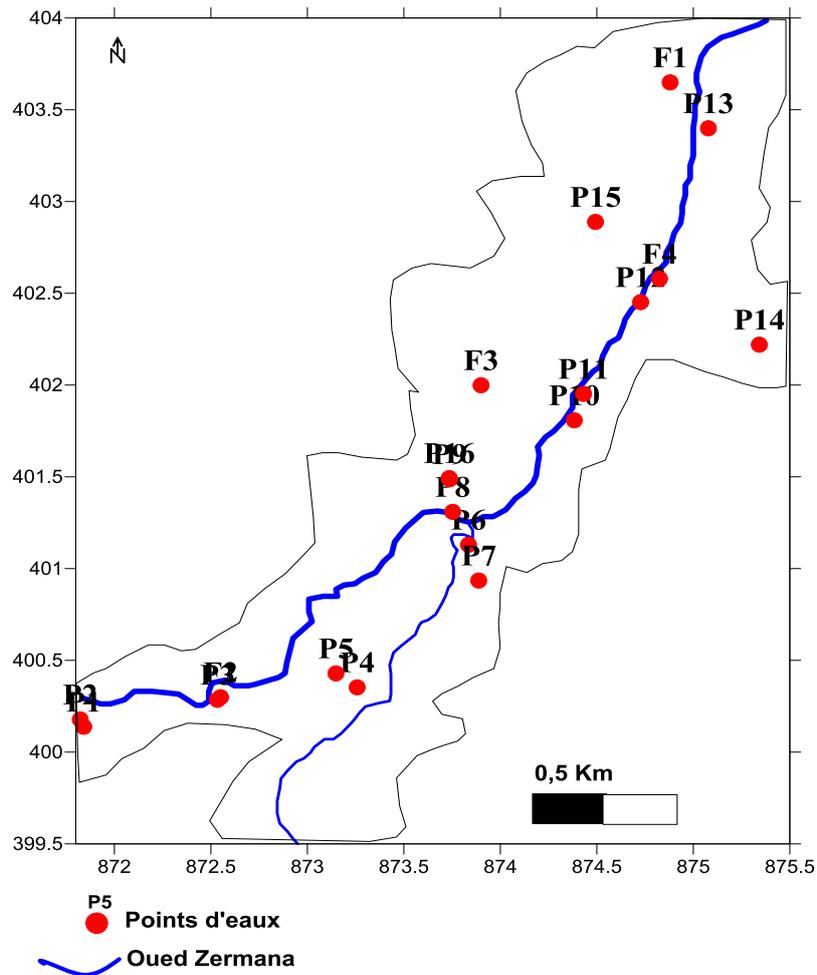
Les forages existant dans notre secteur d'étude totalisent quatre ouvrages, réalisés le long de l'oued Zeramna (Tab.31). Ces forages sont destinés soit à l'exploitation AEP, soit à l'utilisation industrielle.

**Tableau .31:** Inventaire des forages.

Nom et numéro de forage	Année réalisée	Profondeur (m)	Altitude Z (m)	NS (m)	ND (m)	Rabattement « S » (m)	Débit « Q » (l/s)	Distance Entre les forages (km)
<b>F1 Skikda F-SM sicele</b>	2002	85	7.50	4.25	41.13	36.88	15	1.075 1.5 2.2
<b>F2 Zef-Zef</b>	2001	50	7.10	3	25	22	10	
<b>F3 Cite universitaire</b>	1991	35	38.5	4	6.20	2.1	15	
<b>F4 Zenat El Hadaik</b>	1989	30	20.51	3.6	8.0	4.4	15	

### Inventaire des puits :

Dans la plaine d'El-Hadaeik on dénombre 16 puits au total, répartis entre les particuliers, la commune et les domaines agricoles, destinés à l'usage domestique et à l'irrigation des terrains cultivés.



**Fig. 30 :** Carte d'inventaire des points (puits et forage) d'eau dans la plaine d'El-Hadaiek (Mars 2016)

### VI-3. Les conditions aux limites :

La nappe alluvionnaire de la région d'El Hadaiek est limitée par :

- Les grés numidiens au Sud - Est.
- Les formations métamorphiques au Nord-Ouest.

### VI-4. La coupe hydrogéologique :

#### VI-4.1. Etablissement de la coupe hydrogéologique :

L'étude de la nature de la nappe aquifère nécessite l'établissement des coupes hydrogéologiques afin de représenter toutes les couches traversées par les forages. Cette coupe est établie à partir de 4 forages (F1 ,F2,F3,F4), implantés dans la plaine,

D'après les colonnes stratigraphiques des forages, leurs profondeurs, l'altitude topographique et les distances entre eux, on a établi une coupe hydrogéologique, afin de comprendre la structure hydrogéologique du secteur étudié. Par la suite, on a fait une corrélation entre les couches géologiques traversées par les forages. Les formations de la même nature lithologique sont reliées entre elles, pour mieux constituer la géométrie de l'aquifère. Sur la coupe, on a représenté les altitudes des forages par rapport au niveau du NGF. Cette coupe est dressée à partir de 4 forages exécutés dans la zone d'étude (Figure.31). Elle est tracée suivant la plus longue diagonale de la zone d'étude du Sud-ouest vers le Nord-est.

Altitudes  
(m)

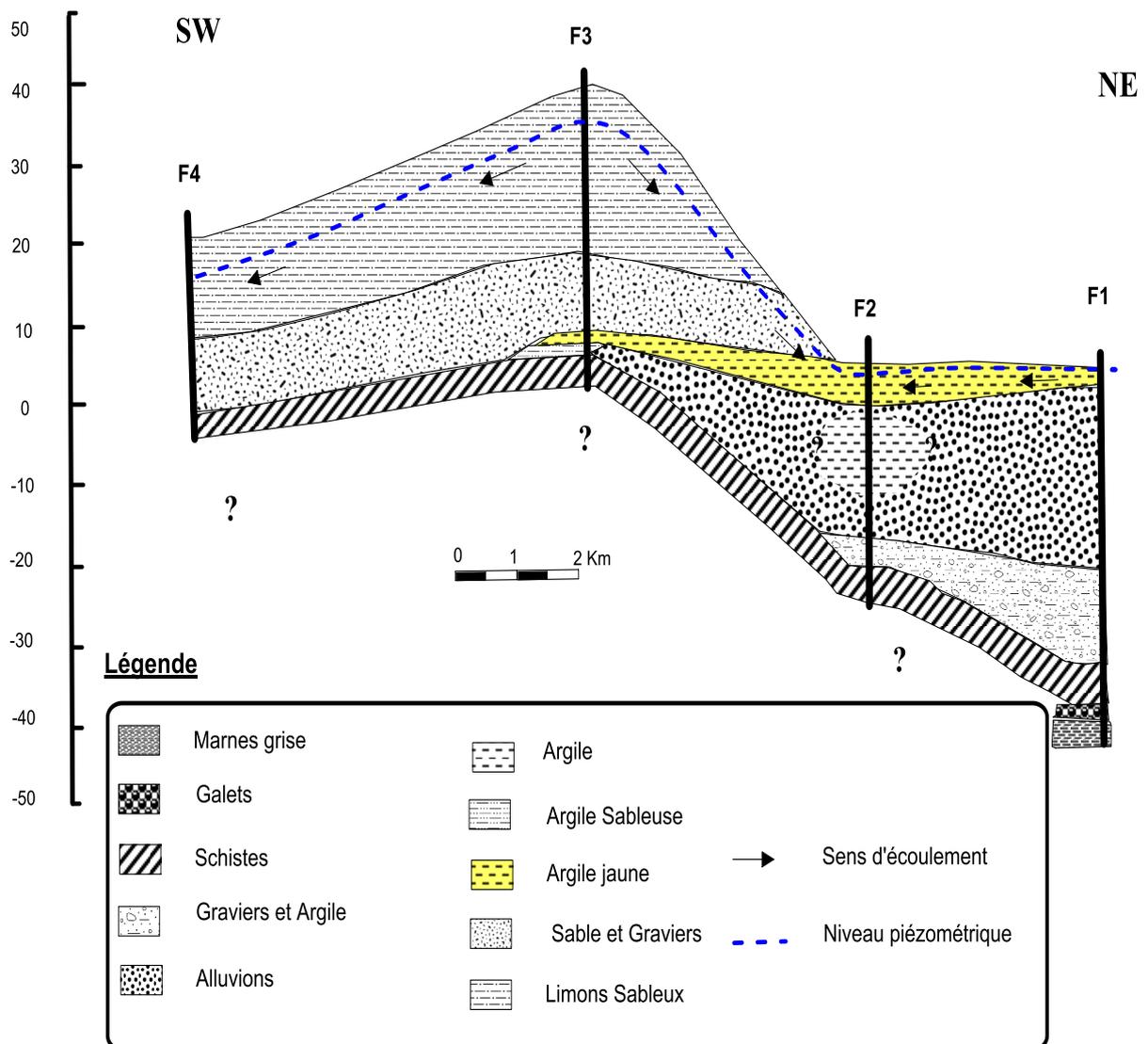


Fig. 31 : Coupe hydrogéologique dans la plaine d'El-Hadaiek (Attoui Barda modifiée 2016)

**VI-4.2 Interprétation de la coupe hydrogéologique :**

Cette coupe a été établie à partir d'un profil qui passe par les quatre forages existants le long de l'oued Zeramna on constate une couche aquifère superficielle composée par des sables, des galets et des graviers.

L'épaisseur de cette couche est variable, elle atteint son minimum au niveau du forage F4 et son maximum au niveau du forage F3, elle s'amincit jusqu' à disparaître au niveau du forage F2. Elle repose sur un substratum schisteux et argileux.

Vers le Nord-est, l'aquifère est constitué par des formations alluvionnaires composées de graviers, d'argile sableuse, de schistes ...etc.

L'épaisseur de cette couche est plus importante du côté de l'oued (40 m) et elle tend à disparaître au niveau du forage F3. A ce niveau, le substratum de la couche est représenté par les schistes.

**VI-5. Piézométrie :****VI- 5.1. Etablissement de la carte piézométrique :**

L'étude de la circulation des eaux souterraines est basée sur l'analyse de la surface piézométrique.

La carte piézométrique permet de déterminer la profondeur de la nappe, le sens d'écoulement des eaux, le gradient hydraulique ainsi que les zones d'alimentation et les zones favorables à l'accumulation des eaux souterraines. Elle traduit la morphologie de la surface d'eau de la nappe à une époque déterminée.

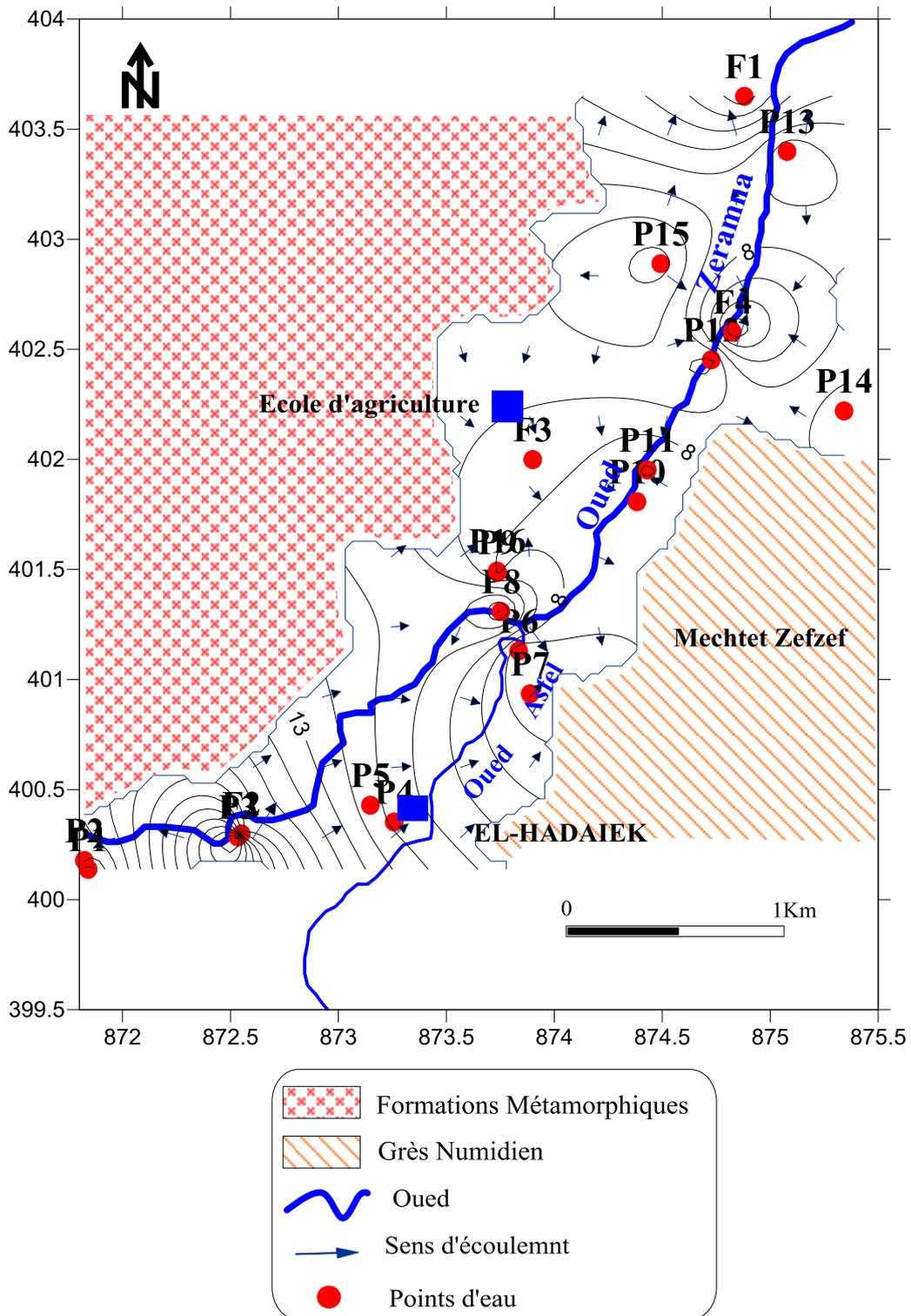


Fig. 32 : Carte piézométrique de la plaine d'El-Hadaiek (Mars 2016).

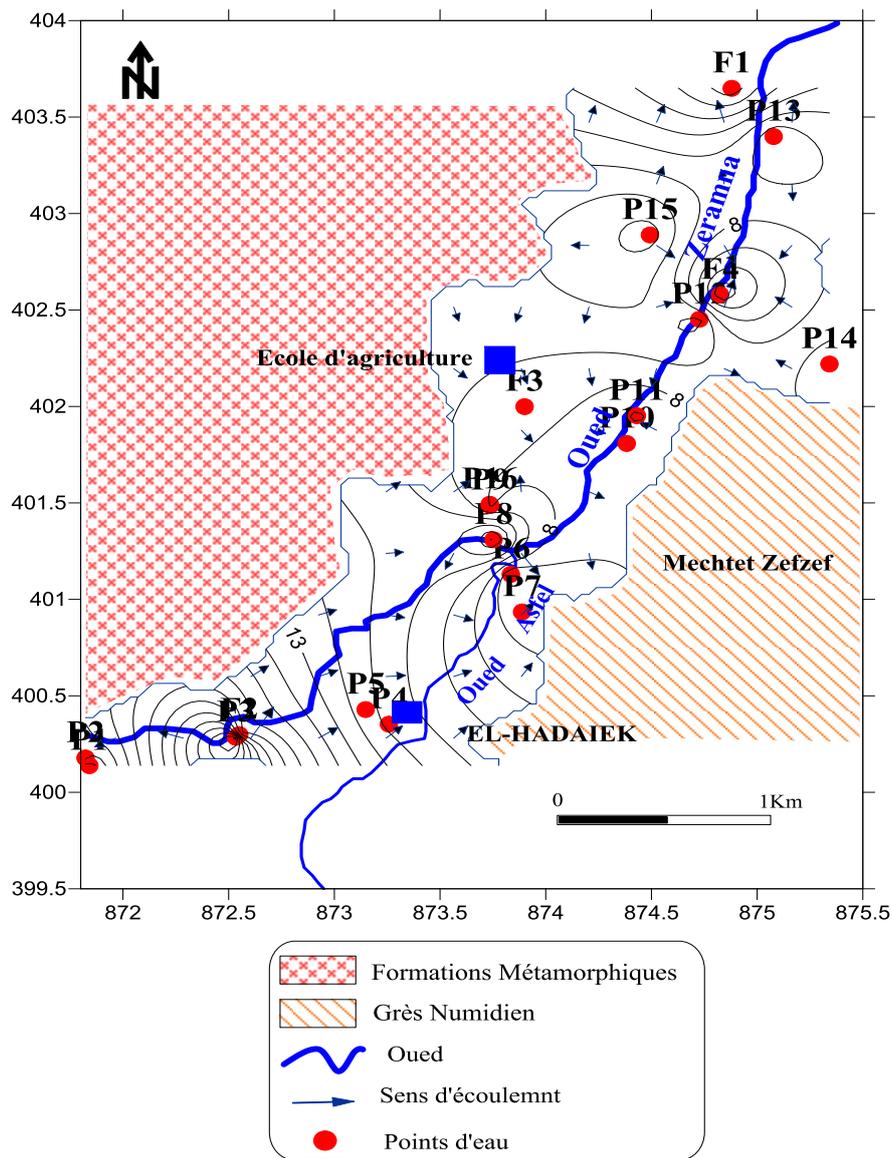


Fig.33 : Carte piézométrique de la plaine d’El-Hadaiek (Juill 2016).

**VI-5.2. Interprétation des cartes piézométriques (nappe superficielle):**

La carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine d’El Hadaiek a été dressée à partir de deux campagnes de mesure qui se rapporte respectivement à la période des hautes et basses eaux (Mars, Juill 2016) à partir de 16 puits. Elle nous a permis de distinguer les zones suivantes :

- **La zone Sud -Centrale :**

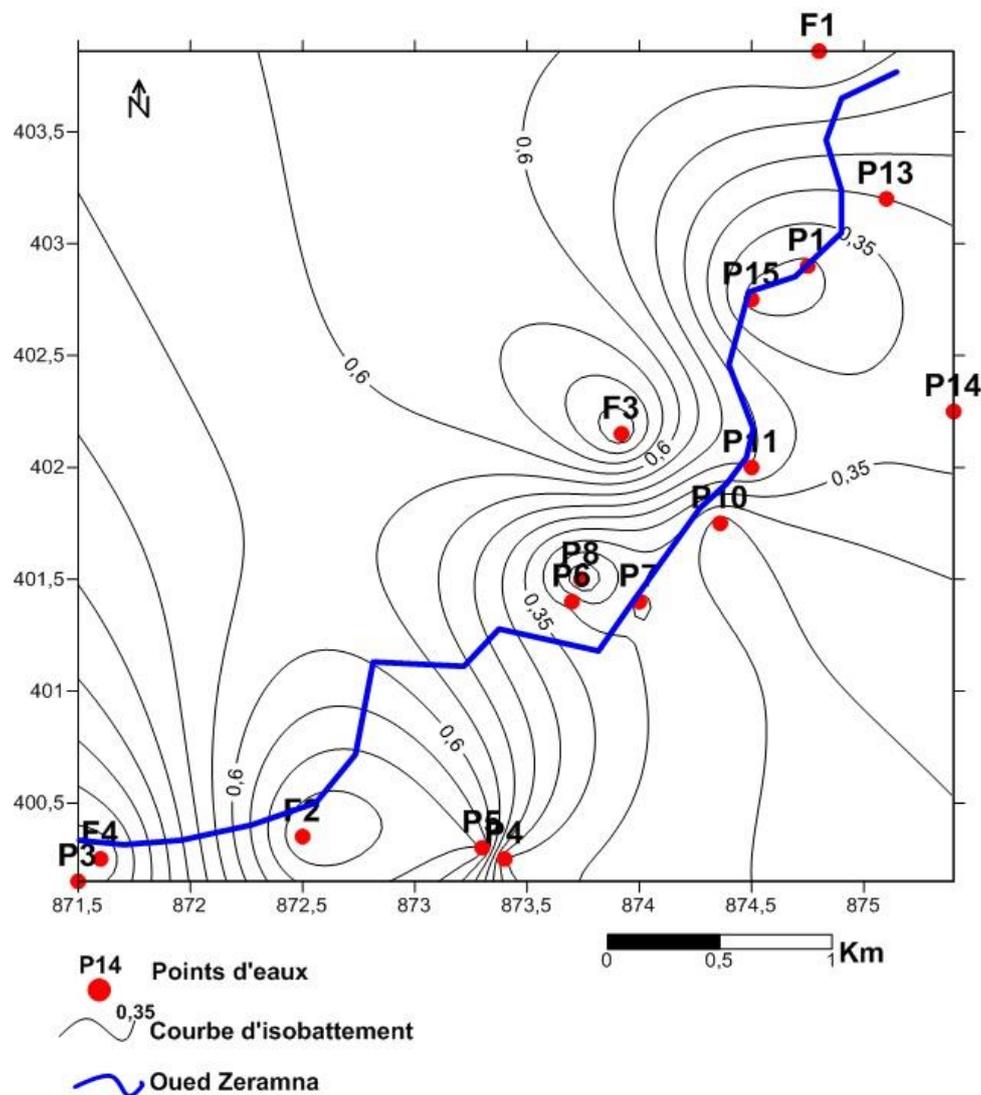
Au niveau de cette zone les courbes isopièses sont serrées indiquant un écoulement rapide où le gradient hydraulique est plus au moins fort surtout dans la partie Sud

Les lignes de courant sont orientées vers l'oued c'est à dire l'écoulement se dirige en direction d'oued Zeramna (Fig. 32,33).

- **La partie Nord-Est :**

Dans cette zone, on remarque que les courbes sont concaves indiquant une surexploitation, ces dernières sont relativement espacées, identifiant un écoulement faible et un gradient hydraulique plus au moins faible. Toujours la direction de l'écoulement est vers Oued Zeramna.

### VI-5.3. La fluctuation de la nappe superficielle :



**Fig .34 :** Carte de battement de la nappe superficielle en (m) durant l'année 2016.

La carte de battement 2016 a montré que les fluctuations peuvent atteindre 0,8 m. Au niveau centre de la plaine, celles-ci varient entre 0,1 et 0,35 m (Figure 34).

Dans la partie Sud Est de la plaine les fluctuations atteignent 0,8 m

#### VI-5.4. Bilan du système aquifère :

**a- Entrée** = alimentation du système aquifère :

Compte tenu de sa situation géographique et climatique, la nappe libre est alimentée par des précipitations efficaces (PE) qui égalent la différence entre les précipitations tombées (P) et l'ETR.

Dans la région d'Elhadaiek, avec 803,1 mm de hauteur de précipitations annuelle, soit 3937,78 hm<sup>3</sup>/an, les précipitations efficaces moyennes annuelles sont de 1296,9 hm<sup>3</sup>/an.

Précipitations efficaces = précipitations – évapotranspiration réelle

$$1296,9 \text{ hm}^3/\text{an} = 3937,78 \text{ hm}^3/\text{an} - 2640,87 \text{ hm}^3/\text{an}.$$

**b. Sortie** : fuites du système aquifère

La précipitation efficace sera répartie, à la surface du sol, en deux fractions, fixes, conventionnelles inégales.

- Le ruissellement (R) qui alimente l'écoulement de surface Q<sub>s</sub> collecté par le réseau hydrographique du bassin versant. Dans la région d'étude Q<sub>s</sub>=954,65 hm<sup>3</sup>/an.
- l'infiltration (I), quantité d'eau franchissant la surface du sol et qui entretient l'écoulement souterrain (Q<sub>w</sub>) ; soit pour la zone d'étude I=342,24 hm<sup>3</sup>/an.
- le pompage. Selon l'organisme qui gère la distribution de l'eau potable aux citoyens (DHW de Skikda), le débit d'exploitation est de 2,69 hm<sup>3</sup>/an.

Le total des entrées et sorties est respectivement ; 1296,9 hm<sup>3</sup>/an et 1299,58 hm<sup>3</sup>/an ; il en résulte donc une différence négative de l'ordre de 2,69 hm<sup>3</sup>/an.

### VI-6. Aperçu théorique sur l'évaluation de réserve et ressource en eau souterraine :

#### VI-6. 1. Notion de réserve et ressource en eau :

La différence entre le concept de réserve et de ressource ne doit prêter à aucune équivoque. La réserve en eau souterraine est la quantité ou le volume d'eau gravitaire emmagasinée dans l'aquifères à une date donnée ou stocker au cours d'une période moyenne annuelle, dans une tranche d'aquifères délimitée. Elle résulte de la fonction capacitive du réservoir aquifère. Evaluée en unité de volume, elle est exprimée en hm<sup>3</sup>. La ressource en eau est la quantité ou

le volume d'eau pouvant être extrait d'un domaine circonscrit pendant une période donnée compte tenu de critères hydrodynamique et hydrochimique de l'aquifères et est exprimée en terme de débit (m<sup>3</sup>/an).

**VI-6. 2.Catégorie de réserves en eau souterraine :**

La catégorie de réserve en eau souterraine est définie par le volume d'eau gravitaire stocké au cours d'une durée moyenne dans une tranche d'aquifères délimitée.

**Réserve totale de l'aquifères :**

C'est la quantité d'eau gravitaire contenue dans le volume d'un système aquifères défini par ces conditions aux limites ; à la base par le substratum, la limite supérieure est le toit imperméable pour aquifères à nappe captive et la surface piézométrique maximale moyenne pour celui à nappe libre. Elle est exprimée en m<sup>3</sup> ou m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>.

**Réserve permanente :**

C'est le volume d'eau non renouvelé dans les conditions naturelles d'alimentation.

Dans le cas d'une nappe libre, elle est limitée par la surface piézométrique minimale moyenne et pour les nappes captives, la réserve permanente est très peu différenciée de la réserve totale.

**Réserve régulatrice des aquifères à nappe libre :**

C'est le volume d'eau gravitaire contenu dans la zone de fluctuation de la surface piézométrique d'un aquifères à nappe libre. Elle est déterminée par référence à une période définie (hauteur de fluctuation annuelle ou moyenne annuelle).

**VI-6. 3.Méthode d'évaluation de la réserve en eau souterraine :****VI-6. 3.A.Principe d'évaluation :**

La réserve en eau souterraine, W est estimée différemment selon que l'on considéré un aquifères à nappe libre ou captive. Elle est évaluée par traitement d'un couple de données à savoir :

Le volume V, de la tranche d'aquifères considérée (réservoir saturé) ;

La porosité efficace (**n<sub>e</sub>**) des aquifères à nappe libre, ou le coefficient d'emmagasinement des aquifères à nappe captive S.

La réserve s'exprime alors par le produit :

$W=V*ne$  dans le cas d'une nappe libre

$W= V*S$  dans le cas d'une nappe captive

### **VI-6. 3.B.Renouvellement de réserve en eau souterraine :**

La réserve en eau souterraine est essentiellement renouvelée par les apports de l'infiltration efficace. En régime naturel, cette alimentation compense les sorties dues à l'écoulement souterraine ( $Q_w$ ), étant donné que la différence de réserve  $AW$ , est constante. Classiquement, deux paramètres sont définis : le taux de renouvellement et la durée de renouvellement.

Le taux de renouvellement représente la fraction de la réserve totale renouvelée en une moyenne, il est défini comme le rapport de l'alimentation efficace moyenne annuelle ( $I$ ) exprimée en volume, à la réserve totale moyenne  $WM$ . Il est donné en pourcentage.

La durée de renouvellement est la durée théorique nécessaire pour que le volume cumulé de l'alimentation de l'aquifères, soit égal à sa réserve totale.

### **VI-6.3.C. Evaluation quantitative de la réserve et la ressource en eau souterraine :**

Pour évaluer la ressource en eau souterraines nous avons procédé la méthode de la cartographie de l'aquifères. Cette méthode est basée sur l'examen et l'interprétation des cartes structurales, piézométriques et coupes hydrogéologiques de l'aquifère. Ces cartes sont établies par la synthèse de données des études ayant trait à la géologie, à la géophysique.

### **VI-6. 4.Reserve totale de la nappe :**

Nous avons estimé le volume total du réservoir sur la base de la coupe hydrogéologique et la carte isopache (DHW Skikda) de la nappe superficielle d'Elhadaiek, que nous avons dressé à partir des données des sondages géoélectriques et les logs stratigraphiques.

On a calculée la surface comprise entre deux courbes isopaches. Le produit de la surface ainsi obtenue par la puissance moyenne des deux courbes isopaches permet de déduire le volume aquifère correspondant, soit un volume de  $467,04 \text{ hm}^3$  (Tableau 32 ).

Tableau .32 : Estimation du volume total de la nappe et de la réserve totale

Intervalles des épaisseurs	Epaisseur Moyenne (m)	Superficie $m^2 \cdot 10^6$	Volume $(m^3 \cdot 10^6)$	Niveau d'eau moyen	Volume non saturé $(m^3 \cdot 10^6)$	Volume Saturé $(m^3 \cdot 10^6)$
8-12	10	8,28	82,8			
12-16	14	11,78	164,92			
16-20	18	6,18	111,24	8,9	273,85	193,19
20-24	22	0,72	15,84			
24-28	26	2,74	71,24			
28-32	30	0,70	21			
		30,77	467,04			

Le volume de la roche réservoir totale de la nappe obtenu par la combinaison des résultats de la carte isopache et la coupe hydrogéologique et celle des profondeurs des niveaux statiques des hautes eaux (Mars 2016) est égale à  $29 \text{ hm}^3$ .

La réserve en eau totale  $W_t$ , contenue dans ce volume du terrain aquifère avec une porosité efficace de 15%, est donnée par l'expression suivante :

$$W_t = V_t \cdot n_e$$

$W_t$  : réserve totale ( $\text{hm}^3$ )

$V_t$  : volume de la nappe

$n_e$  : porosité efficace

$$W_t = 193,19 \cdot 0,15 = 29 \text{ hm}^3$$

**VI-6. 5.Réserve permanente (Wp) :**

La réserve permanente Wp, est estimée par le même procédé que celui utilisé pour la détermination de la réserve totale Wt ; seulement on ne tient compte cette fois-ci que des mesures du niveau statique des basses eaux 2016 (Tableau 33).

$$Wp = Vp * n_e$$

**Wp** : La réserve permanente (hm<sup>3</sup>)

**Vp** : le volume du réservoir aquifère en période d'été

**n<sub>e</sub>** : porosité efficace

La réserve en eau permanente **Wp = 26,67 hm<sup>3</sup>**

**Tableau .33** : Estimation du volume total de la nappe et de la réserve permanente

Intervalles des épaisseurs	Epaisseur Moyenne (m)	Superficie m <sup>2</sup> .10 <sup>6</sup>	Volume (m <sup>3</sup> .10 <sup>6</sup> )	Niveau d'eau moyen	Volume non saturé (m <sup>3</sup> .10 <sup>6</sup> )	Volume Saturé (m <sup>3</sup> .10 <sup>6</sup> )
8-12	10	8,28	82,8			
12-16	14	11,78	164,92			
16-20	18	6,18	111,24	9,4	289,23	177,81
20-24	22	0,72	15,84			
24-28	26	2,74	71,24			
28-32	30	0,70	21			
		30,77	467,04			

**VI-6. 6. Réserve exploitables ou renouvelables :**

Cette réserve est estimée par deux méthodes à savoir :

La méthode hydrologique

La méthode cartographique (carte de fluctuation de la nappe)

**1. Méthode hydrologique :**

La recharge de la nappe s'effectue par l'infiltration directe des eaux de précipitation.

Donc:  $W_R = V_i + A_p$  ;  $V_i = I * S$ ; Avec :

$W_R$  : réserve régulatrice ( $hm^3$ )

$V_i$  : volume d'eau infiltré ( $hm^3$ )

$A_p$  : apport d'eau latérale ( $hm^3$ )

$I$  : infiltration (mm)

$S$  : superficie du sous bassin versant ( $162,17Km^2$ )

Le calcul de l'infiltration a été traité au chapitre hydroclimatologie. Les résultats donnent une infiltration de l'ordre de 8,69% pour une précipitation moyenne annuelle de 803,1mm.

Le tableau N° donne le bilan hydrique de la station hydrométrique de Skikda.

**Tableau 34 :** Bilan hydrique globale du sous bassin d'Elhadaiek

Station	Skikda
<b>P (mm)</b>	<b>803,1</b>
<b>Lame d'eau ruisselé Le (mm)</b>	<b>117,41</b>
<b>Infiltration (mm)</b>	<b>69,8</b>
<b>ETR (mm)</b>	<b>538,6</b>
<b>Déficit d'écoulement D (mm)</b>	<b>684,18</b>

Ces valeurs du bilan d'écoulement superficiel retenues à la station de Skikda qu'à partir d'une précipitation de 803,1mm/an durant la période 1994/2015, on a une lame d'eau écoulé de l'ordre 117,41mm sont de taux de 14,61%, une valeur très faible par rapport à la lame d'eau précipitée. Le déficit d'écoulement 684,18 mm traduit une forte évapotranspiration de l'ordre de 85,19% des précipitations.

A l'échelle du sous bassin versant d'Elhadaiek dont l'étendue est de 162,17 Km<sup>2</sup>, le volume d'eau infiltré est de 11,4hm<sup>3</sup>. A l'échelle de la zone d'étude, dont l'étendue est de 30,77 hm<sup>3</sup>.

Le volume d'eau infiltré est de 2,14 hm<sup>3</sup>. Ainsi nous constatons que les apports par infiltration directe, à la nappe représentent 97% des réserves actuelles évaluées à partir de la carte iso-battement de la nappe et qui donne un volume de 2,2 hm<sup>3</sup>. Le reste des apports est assuré par l'alimentation de la nappe à partir des bassins avoisinants (bassin de Guebli à l'Ouest) et par les eaux de la nappe de grés numidiens, ainsi que par les eaux de Djebel Kefs M'souna.

## **2. Méthode cartographique (carte de fluctuation) :**

Le calcul du volume de la réserve régulatrice de la nappe libre est obtenu par la carte en courbe d'égale hauteur de fluctuation (iso battement) pour l'année 2016. Les résultats sont portés dans le tableau ci-après (Tableau 35).

En utilisant la formule suivante pour calculer le volume de la réserve régulatrice ;

$$W_R = V_R * n_e$$

$W_R$  : réserve régulatrice (hm<sup>3</sup>)

$V_R$  : volume de tranche correspondante à la fluctuation

$n_e$  : porosité efficace

**Tableau .35** : calcul du volume de la réserve régulatrice de la nappe (2016)

Courbes d'iso battement	Puissance moyenne par tranche	Surface 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
0,1 - 0,3	0,2	6,28	1,25
0,3 - 0,5	0,4	6,75	2,7
0,5 - 0,7	0,6	17	10,2
> 0,7	0,7	0,74	0,51
		<b>30,77</b>	<b>14,66</b>

La réserve régulatrice calculée par la carte en courbes d'égale hauteur de fluctuation pour l'année 2016, compte tenu d'une porosité utile  $n_e=15\%$ , est égale à 2,2 hm<sup>3</sup>.

#### VI-6. 7.Calcul du taux de renouvellement :

Le taux de renouvellement de la réserve en eau souterraine de la nappe est donnée par l'expression suivante : **Taux de renouvellement =  $Q_w/W_M$**

Pour  $Q_w = 2,2\text{hm}^3$  et  $W_t = 29 \text{ hm}^3$ , le taux de renouvellement est égal à **0,08%**.

Durée de renouvellement =  $W_t/ Q_w = 13 \text{ ans}$ .

Les résultats des paramètres de renouvellement de la réserve en eau souterraine, comparés aux valeurs caractéristiques des paramètres de renouvellement données par G.Bodelle et J Margat et G Castany (0,08% près de 0,1), confirme d'une réserve d'alimentation actuelle avec une fonction régulatrice très grande.

Les résultats de l'évaluation numérique des différents types des réserves en eau souterraine (totale, permanente et régulatrice) de la nappe d'Elhadaiek, obtenue par les méthodes hydrologiques et cartographiques sont récapitulés dans le tableau suivant (Tableau 36) :

**Tableau 36** : récapitulatif des résultats de l'évaluation numérique des différentes réserves en eau souterraines.

		Valeurs en hm <sup>3</sup>	Volume hm <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup>
Réserves en eau souterraine	Réserve totale (Wt)	29	0,94
	Réserves permanentes (Wp)	26,67	0,86
	Réserves régulatrices (W <sub>R</sub> )	2,2	0,07
	Débits extraits	0,62	0,02

**Conclusion :**

Les résultats obtenus de la réserve régulatrice ( $2,2 \text{ hm}^3$ ) obtenues par le dépouillement de la carte de fluctuation de la nappe libre sont inférieures à celles qui sont déduites de la différence entre la réserve totale et permanente.

Par ailleurs, l'exploitation de la nappe pour les besoins en AEP et en irrigation représentée par les débits extraits ( $0,62 \text{ hm}^3$  (DHW de Skikda)) est inférieure à la réserve régulatrice. Ces paramètres du bilan de la nappe permet en outre de conclure que la ressource en eau n'est pas totalement exploitable en raison de l'existence de la ressource en eau de surface tel que les barrages, les retenus collinaires et les oueds.

# Conclusion Générale

### ***Conclusion générale :***

La zone d'étude fait partie de la vallée du « Zeramna », elle est constituée de deux parties :

- Une partie située en haut, sous forme d'une colline.
- Une partie en bas, sous forme d'une plaine.

Administrativement, la zone d'étude est située dans la commune d'El-Hadaieks, (wilaya de SKIKDA)

Du point de vue géologique, la région d'étude présente des terrains allant du Paléozoïque au Quaternaire. La diversité lithologique et l'évolution structurale des massifs limitrophes de la plaine d'el Hadaiek ont conditionné dans de larges mesures, l'accumulation de matériaux détritiques alluvionnaires qui représente un intérêt hydrogéologique important.

la région étudiée un climat de type méditerranéen caractérisé par deux périodes distinctes :

- Une période pluvieuse est humide s'étalant du mois de Septembre à Mai.
- Une période sèche est chaude allant de Mai à septembre.

L'analyse du bilan hydrique fait ressortir les remarques suivantes :

Dans la région d'EL-Hadaiek , le déficit intervient durant la période de juin jusqu'au mois d'octobre Le mois de novembre correspond au début de la période de reconstitution de la réserve facilement utilisable qui atteint son maximum durant la période qui s'étale du mois de Décembre au mois d'avril, et se sont les seuls mois ou l'écoulement intervient avec un maximum au mois de janvier.

L'étude hydrochimique de la plaine d'El-Hadaiek nous a permis de mettre en évidence en ressort pour les eaux souterraines un faciès chimique dominant le chloruré-sodique avec un pourcentage de 70 %.

.En général les eaux de notre zone d'étude sont admissibles pour l'irrigation

Les résultats obtenus de la réserve régulatrice (2,2 hm<sup>3</sup>) obtenues par le dépouillement de la carte de fluctuation de la nappe libre sont inférieures à celles qui .sont déduites de la différence entre la réserve totale et permanente

Par ailleurs, l'exploitation de la nappe pour les besoins en AEP et en irrigation représentée par les débits extraits (0,62hm<sup>3</sup> (DHW de Skikda)) est inférieure à la réserve régulatrice. Ces paramètres du bilan de la nappe permet en outre de conclure que la ressource en eau n'est pas totalement exploitable en raison de l'existence de la .ressource en eau de surface tel que les barrages, les retenus collinaires et les oueds

# Références Bibliographiques

### *Références Bibliographiques*

- **B.N.E.D.E.R. (2005)** : Etude d'inventaire et d'évaluation des ressources en eau souterraines dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf
- **Boukhedcha Nour-Edine (2002)** : Contribution à l'étude hydrologique de la vallée du Saf-Saf. Thèse de Magister
- **Cherf. A. K, Younsi. H. E. (2005)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de l'aquifère côtier de la plaine de Skikda. Mémoire d'Ingénieur
- **Ben Redjem. R, Boularoug. W. (2006)** : Hydrogéologie et hydrochimie de la zone industrielle – wilaya de Skikda - . Mémoire d'Ingénieur
- **Ouartsy Fouzia. (1999)** : Potentialités et Qualités des eaux du bassin versant de l'oued Saf-Saf. Mémoire d' Ingénieur
- **KHELFAOUI Fayçal 2007** : RESSOURCES EN EAU ET GESTION INTEGREE DANS LE BASSIN VERSANT DU SAF-SAF (NORD-EST ALGERIEN) Magister .Univ an,aba ....p 50  
.51.18.19.20.21.22.23.24
- **BEN RABAH Samia2006**: ETAT ACTUEL DES RESSOURCES EN EAUDANS LA WILAYA DE SKIKDA (ESSAI DE SYNTHESE) BILAN – GESTION – PERSPECTIVE..MAGISTER UNIV annaba **P 22-33**

- **RÉSERVES EN EAUX SOUTERRAINES**

Gilbert CASTANY

To cite this article: Gilbert CASTANY (1962) 1.—RÉSERVES EN EAUX SOUTERRAINES, International Association of Scientific Hydrology. Bulletin, 7:4, 5-15,

- (Durand – Delga, 1955 ; 1969 ; 1980, Bouillin, 1971 ; 1977, Wildi, 1983.)
- (Attoui Barda modifiée2016).

### Agences :

- **Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH)** de skikda
- **Agence de bassin hydrographique** de skikda
- **Direction de l'hydraulique de wilaya** de Skikda et Annaba
- **Environnement** (laboratoire) de Skikda
- **BNEDER**: Bureau National d'etude pour le Développement Rural

- **EPEDEMIA** de Skikda
- **ADE** : L'algérienne des eaux
- **DHW** : Direction Hydraelique la Wilaya SKIKDA
- Station pluviométrique (**nouveau port**) de Skikda

### **Les Cartes**

- ✓ Carte du Réseau Hydrographique du Bassin Versant du Saf-Saf
- ✓ Carte d'inventaire des points (puits et forage) d'eau dans la plaine d'El-Hadaiek (Mars 2016)
- ✓ Carte de battement de la nappe superficielle en (m) durant l'année 2016
- ✓ Carte piézométrique de la plaine d'El-Hadaiek (Juill 2016)
- ✓ Carte piézométrique de la plaine d'El-Hadaiek (Mars 2016)

### **Les sites Internet consultés:**

- [www.univ-skikda.dz](http://www.univ-skikda.dz)
- [www.hydrogéologie.com](http://www.hydrogéologie.com)
- [www.univ-annaba.dz](http://www.univ-annaba.dz)
- **Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, 2004**  
Etat des nappes d'eau souterraines de la Wallonie. Commissions internationales de la protection de la Moselle et