

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de

l'Univers

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

Domaine : Sciences de la terre et de l'univers

Filière : géologie

Option : Hydrogéologie

**Thème :**

---

---

**Caractérisation hydrogéologique en utilisant le Système d'information géographique cas du bassin versant du Saf-Saf**

**(Wilaya de Skikda)**

---

---

**Présenté par :**

- ❖ Bousekaa Abderahmene
- ❖ Laouar Narimen

**Soutenu le devant le jury :**

- |               |                   |      |                      |
|---------------|-------------------|------|----------------------|
| ❖ Président   | Mdm.Nora Kachi    | MCB. | Université de Guelma |
| ❖ Examineur : | Mr.Tahar Nouar    | Pr.  | Université de Guelma |
| ❖ Encadreur : | Mdm.Laila Benacer | MCB. | Université de Guelma |

**2020/2021**

## **Résumé :**

Le recours aux nouvelles technologies informatiques tel que le Système d'Information Géographiques (SIG), devient très intéressant afin de mieux étudier, gérer, évaluer, planifier et caractériser des ressources naturelles tel que l'eau. Cependant on s'est intéressé à l'application de cet outil pour la caractérisation hydrogéologique du bassin versant de Saf-Saf.

Les SIG nous permettront de réaliser des cartes thématiques représentant en premier lieu les caractéristiques morphométriques du bassin, la délimitation du bassin, détermination de réseau hydrographique, le calcul des indices des pentes et relief ...etc.

Le traitement et l'analyse des données collectées, notamment les informations concernant les fiches techniques des forages, des données piézométriques, nous permettront de réaliser des cartes d'inventaire et une carte piézométrique afin de faciliter l'interprétation et la caractérisation hydrogéologique, notamment pour l'interprétation des coupes hydrogéologiques qui montre l'existence de deux types d'aquifères. L'un libre et l'autre confiné par endroits.

La piézométrie nous montre trois zones hydrogéologiques distinctes, la zone Nord de convergence des eaux souterraine, un gradient hydraulique moyen et une perméabilité moyenne. Une zone Sud avec un gradient hydraulique faible et une perméabilité forte.

On a complété l'étude hydrogéologique par une analyse hydrochimique et l'extraction des faciès chimiques « chlorure – sodique » et leurs origines.

**Mots clé :** SIG, cartes thématiques, caractérisation hydrogéologique

**Abstract:**

The use of new computer technologies such as the Geographic Information System (SIG), becomes very interesting in order to better study, manage, evaluate, plan and characterize natural resources such as water. However, we were interested in the application of this tool for the hydrogeological characterization of the Saf-Saf watershed.

The GIS will allow us to produce thematic maps firstly representing the morphometric characteristics of the basin, the delimitation of the basin, determination of the hydrographic network, the calculation of slope and relief indices.... etc.

The processing and analysis of the data collected, in particular the information concerning the technical data sheets of the boreholes, the piezometric data, will allow us to produce inventory maps and a piezometric map in order to facilitate the interpretation and hydrogeological characterization, in particular for the interpretation of hydrogeological sections which shows the existence of two types of aquifers. One free and the other confined in places

The piezometry shows us three distinct hydrogeological zones, the northern zone of groundwater convergence, an average hydraulic gradient and an average permeability. A southern zone with a low hydraulic gradient and high permeability.

The hydrogeological study was completed by a hydrochemical analysis and the extraction of the "chloride - sodium" chemical facies and their origins.

**Key words :** SIG , thematic maps, hydrogeological characterization

## ملخص:

أصبح استخدام تقنيات الكمبيوتر الجديدة مثل نظام المعلومات الجغرافية (ن م ج) مثيّرًا للاهتمام للغاية من أجل دراسة وإدارة وتقييم وتخطيط وتوصيف الموارد الطبيعية بشكل أفضل مثل المياه. ومع ذلك، فقد كنا مهتمين بتطبيق هذه الأداة للتوصيف الهيدروجيولوجي لمياه حوض الصفصاف.

سمح لنا نظام المعلومات الجغرافية بإنتاج خرائط موضوعية تمثل أولاً الخصائص الشكلية للحوض، وترسيم حدوده، وتحديد الشبكة الهيدروغرافية، وحساب مؤشرات الانحدار والتضاريس ... إلخ.

سمحت لنا معالجة وتحليل البيانات التي تم جمعها، ولا سيما المعلومات المتعلقة بأوراق البيانات الفنية للآبار، وبيانات قياس الضغط، بإنتاج خرائط الجرد وخريطة قياس الضغط من أجل تسهيل التفسير والتوصيف الهيدروجيولوجي، ولا سيما من أجل تفسير المقاطع الهيدروجيولوجية مما يدل على وجود نوعين من طبقات المياه الجوفية. واحد حر والآخر محصور في بعض الأماكن.

يوضح لنا قياس الضغط ثلاث مناطق هيدروجيولوجية متميزة، في المنطقة الشمالية تقارب المياه الجوفية والتدرج الهيدروليكي متوسط ونفاذية متوسطة. منطقة جنوبية ذات انحدار هيدروليكي منخفض ونفاذية عالية.

اكتملت الدراسة الهيدروجيولوجية بتحليل هيدروكيميائي واستخلاص الصفات الكيميائية "كلوريد - صوديوم" وأصولها.

الكلمات المفتاحية: (ن م ج) - خرائط موضوعية- التوصيف الهيدروجيولوجي

## ***REMERCIEMENTS***

*D'entrée, nous ne manquons d'adresser nos sincères remerciements à notre Dieu le grand créateur qui nous a guidés dans nos pats pour arriver à ce niveau.*

*Nous avons l'honneur d'avoir comme encadreur Madame BENACER LAILA qui n'a pas hésité à nous faire confiance, et d'avoir accepté de partager ses connaissances et son expérience pour mener à son terme ce mémoire de Master, qu'il soit remercié pour ses conseils et son soutien constant tout au long de notre travail de recherche.*

*Nous voudrions également remercier tous nos enseignants du département d'hydrogéologie de l'université 08 Mai 1945 Guelma*

*Nous adressons également nos vifs remerciements aux membres du jury, pour avoir bien voulu lire et débattre notre travail.*

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

*Si par mégarde, nous avons oublié quelqu'un, qu'il nous pardonne et qu'il soit remercié pour tout.*

*Bousekaa & Laouar*

***DEDICACES***

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes parents,*

*Mon frère Tajeddine*

*Mes sœurs Asma, Ahlem, Amal*

*Tous Mes amies*

*Et toute ma grande famille.*

*Bousekaa Abderahmene*

***DEDICACES***

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes parents,*

*Mon frère Adel*

*Mes sœurs Hadil ; Meriem ; Hanane*

*Et toute ma grande famille.*

*Laouar Narimane*

# TABLE DE MATIÈRES

Résumé

Abstract

ملخص

REMERCIEMENTS

DEDICACES

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale : ..... 1

## Chapitre I : cadre générale de la zone d'étude

1.Description du bassin versant.....	04
1.1.  La situation géographique.....	04
I.1.  Géomorphologie :.....	05
I.2   Caractéristiques physiques.....	05
I.2.1  Caractéristiques morphométriques.....	05
I.2.1.1  Superficie.....	05
I.2.1.2  Forme du bassin.....	06
I.2.1.3  Rectangle équivalent.....	06
I.2.1.4  Répartition des tranches d'altitudes et la courbe hypsométrique.....	07
I.2.1.5  Indices de pente et relief.....	09
I.2.1.6  Classe des pentes.....	10
I.2.2  Réseau hydrographique et ses caractères morphométriques.....	13
I.2.2.1  Constitution du réseau hydrographique.....	13
II.    Contexte géologique du bassin versant de Saf-Saf.....	16
II.1.  Cadre géologique.....	16
II.1.1.  Le domaine interne.....	16
II.1.1.1.  Socle Kabyle ou Kabylide.....	16
II.1.1.2  La dorsale kabyle (calcaire).....	17
II.1.1.2.1  chaîne calcaire interne (La dorsale interne).....	17
II.1.1.2.2  chaîne calcaire médiane (La dorsale médiane).....	17

II.1.1.2.3 chaîne calcaire externe (La dorsale externe).....	17
II.1.2 Le domaine médian : domaine des flyschs.....	17
II.1.2.1 Flysch mauritanien : (Néocomien – Lutétien) .....	17
II.1.2.2 Flysch massilien.....	17
II.1.2.3 Flyschs numidiens.....	17
II.1.3 Domaine externe : domaine tellien.....	18
II.1.3.1Séries ultra telliennes.....	18
II.1.3.2Les séries telliennes.....	18
II.1.3.3Séries péni telliennes.....	18
II.2. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques....	18
II.2.1 Formations favorables au développement d'aquifères.....	18
II.2.1.1Formations favorables au développement d'aquifères poreux.....	18
II.2.1.2Formations favorables au développement d'aquifères Karstiques.....	20
II.2.1.3Formations non favorables au développement d'aquifères.....	21
II.3 Tectonique du bassin.....	21
Conclusion.....	22

## **Chapitre II : hydroclimatologie**

Introduction.....	26
I. Stations de mesure.....	26
II. Paramètres météorologiques déterminants.....	26
II.1. Précipitation.....	26
II.1.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	27
II.1.2. Précipitations moyennes saisonnières.....	27
II.1.3. Précipitations moyennes annuelles.....	28
II.1.4 Le coefficient pluviométrique (CP).....	30
II.2. Température.....	31
II.2.1 Variation des températures moyennes mensuelles.....	31
II.2.2 Variation des températures moyennes saisonnières.....	32
II.2.3 Variation des températures moyennes annuelles.....	33
II.3 Le vent.....	34
II.3.1 Vitesses du vent moyennes mensuelles.....	34
II.3.2 Vitesses du vent moyennes annuelles.....	35
III. Détermination du type du climat.....	36
III.1. L'indice d'aridité (Indice De Martonne).....	36
III.2. Diagramme pluvio-thermique.....	37
III.3. Le bilan hydrique.....	37

III.4.	Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	38
III.5.	Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	38
III.6.	Estimation du ruissellement (R).....	39
III.7.	Estimation de l'infiltration (I).....	40
III.8.	Analyse du bilan hydrique.....	40
	Conclusion.....	42

### **Chapitre III : Caractéristiques hydrogéologiques du bassin Saf-Saf**

Introduction.....	44
I.    Horizons aquifères.....	44
I.1    Aquifère a nappe libre.....	44
I.2    Aquifère confiné.....	44
II.   Inventaire des points d'eau.....	46
III.  La carte piézométrique de la plaine d'oued Saf-Saf .....	48
III.  Interprétation de la carte piézométrique.....	50
Conclusion .....	51

### **Chapitre III : Hydrochimie**

Introduction.....	53
I.    Chimie des Points d'eau de la zone industrielle de la wilaya de Skikda...53	53
I.1    Paramètre analysés.....	53
I.2    Les paramètres chimiques.....	53
I.3    La balance ionique.....	53
I.4    Transformation du mg/l en meq/l.....	53
I.5    Calcul de la balance ionique.....	54
I.6    Formule ionique et faciès chimique.....	54
I.7    Représentation graphique des résultats.....	56
II.   Les paramètres physico-chimiques.....	57
II.1.  Température.....	57
II.2.  Potentiel d'hydrogène PH.....	57
II.3.  Conductivité électrique.....	58
III.  Origine des éléments chimiques.....	59
Conclusion.....	62
Conclusion générale.....	64
Bibliographie.....	66
Annexe.....	68

## *LISTE DES FIGURES*

N°	Titre	Pages
01	Carte de situation géographique du bassin versant de L'oued Saf-Saf (F. khalfaoui, 2014, modifiée)	4
02	courbe hypsométrique de bassin versant du saf-saf	8
03	Carte des pentes du bassin versant du Saf-Saf	11
04	Carte du Réseau Hydrographique du Bassin Versant du Saf-Saf	14
05	carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf	23
06	Carte géologique de la région de Skikda extrait de la carte géologique de l'extrême Nord-Est Algérien (D'après J.M. VILA. 1978)	24
07	Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm). Station de Skikda (Sonatrach) (2007/2008 -2016/2017)	27
08	Précipitations moyennes saisonnières en (%). Station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	28
09	Variation des précipitations moyennes annuelles (mm). Station de Skikda (Sonatrach) (2007/2008 -2016/2017)	29
10	Diagramme de CP dans la station du Skikda (2007/2008-2016/2017)	31
11	variations des températures moyennes mensuelles de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	32
12	Températures moyennes saisonnières en (°C) de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	33
13	Variation de la température moyenne annuelle (°C).	34
14	Variations mensuelles des vitesses du vent à la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	34
15	Variations interannuelles des vitesses du vent en (m/s) (2007/2008- 2016/2017)	36
16	Le diagramme pluvio-thermique de la station de Skikda (2007/2008- 2016/2017)	37
17	Variation de l'évapotranspiration potentielle dans la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	39
18	Représentation graphique du bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017).	42

19.a	Coupe hydrogéologique. Skikda f5-ben rais	45
19.b	Coupe hydrogéologique : KOUD.R , R/DJAMEL2 et KHOUANES	45
20	Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine alluviale du Saf-Saf	47
21	Carte piézométrique de la nappe Saf-Saf	49
22	Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper des eaux souterraines dans la zone industrielle	56
23	Variation de la température des eaux souterraines du bassin de l'Oued Saf-Saf (zone industrielle w.skikda )( juillet 2005)	57
24	Variation du pH des eaux souterraines du Bassin de l'Oued Saf-Saf (zone industrielle w.skikda )( juillet 2005)	58
25	Variation de la CE des eaux souterraines du bassin de l'Oued Saf-Saf (zone industrielle Skikda) (juillet 2005)	58
26	Variation du Ca <sup>2+</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda )(juillet 2005)	59
27	Variation du Mg <sup>2+</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w. skikda) (juillet 2005)	59
28	Variation du Na <sup>+</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda ) (juillet 2005)	60
29	Variation du k <sup>+</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda ) (juillet 2005)	60
30	Variation du Cl <sup>-</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda) (juillet 2005)	61
31	Variation du SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda) (juillet 2005)	61
32	Variation du SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda) (juillet 2005)	62

## *LISTE DES TABLEAUX*

N <sup>o</sup>	Titre	page
01	répartition des superficies en fonction des Tranches d'altitudes dans le bassin versant de saf-saf	8
02	Tableau récapitulatif des caractéristiques morphométriques du bassin versant du Saf-Saf.	12
03	Coordonnées géographiques de la station de mesure	26
04	Répartition des précipitations mensuelles (mm) à la station de Skikda (sonatrach) (2007/2008-2016/2017).	27
05	Répartition saisonnière des précipitations à la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	28
06	Moyenne des précipitations annuelles en (mm) (2007/2008-2016/2017) de la station de Skikda	29
07	les résultats du coefficient pluviométrique (CP).	30
08	températures moyennes mensuelles (°C) à la Station SKIKDA (2007/2008-2016/2017).	31
09	Répartition saisonnière des températures moyennes à la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	32
10	Températures moyennes annuelles (°C) de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017).	33
11	Vitesses moyennes mensuelles du vent en m/s station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	34
12	Vitesses moyennes annuelles du vent en m/s station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	35
13	Résultats de l'ETR dans la station de Skikda (2007/2008-2016/2017).	38
14	Résultats de l'ETP par la formule de Thorntwaite (2007/2008-2016/2017).	39
15	Résultats du ruissellement dans la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	40
16	Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)	41
17	l'ensemble des points d'eau (puits et forages)	46
18	les concentrations des éléments chimique en meq/l	54
19	Les valeurs de la balance ionique des différentes analyses	54
20	Les facies chimiques des eaux du forage de la zone industrielle de w. Skikda	55

## *LISTE DES ABRÉVIATIONS*

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BV : Bassin Versant

DRH : Direction des Ressource hydrique

SIG : Système d'Information Géographique

MNT : modelé numérique de terrain

DEM: digital earth model

Fig.: figure

N° : numéro

T : température

CP : Le coefficient pluviométrique

Moy : moyenne

**INTRODUCTION**

**GENERALE**



### INTRODUCTION GENERALE :

" Si la terre avait la grosseur d'une orange, d'une grosse orange, toute l'eau du monde ne serait représentée, sur cette orange, que par une minuscule goutte d'eau " (Paul - Émile Victor). Cette goutte qui est à l'origine de toute la vie sur notre planète se fait de plus en plus rare, de plus en plus chère et représente un souci majeur pour la plupart des pays du monde principalement dans les régions où cette ressource est limitée.

L'Algérie ne fait pas exception, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Elles sont déjà surexploitées en maints endroits et la croissance des besoins en eau va rester très forte avec la croissance démographique surtout au Nord, le développement de l'industrie et des terres irriguées.

Pour accompagner cette situation préoccupante, une gestion durable des ressources en eaux s'impose et exige la mise au point d'un plan d'exploitation. Dans ce sens les études hydrologiques et hydrogéologiques se sont multipliées afin de mieux cerner ce problème.

Dans la matière de la gestion des ressources, les Systèmes d'Information Géographiques se présentent comme des technologies efficaces. Ayant un large domaine d'application, ils ont montré une grande efficacité dans la matière de la gestion des ressources grâce à leur performance dans le géoréférencement. Ils offrent des outils appropriés pour la combinaison de données spatiales ainsi que des modèles sur un même support graphique. Ceci permettra une communication des informations entre les intervenants afin d'assurer une bonne coordination des activités.

Dans ce qui suit, on s'est intéressé à l'application de cet outil pour la caractérisation hydrogéologique de bassin versant de Saf-Saf.

Occupant la partie centrale de la wilaya de Skikda, le bassin du Saf-Saf s'étend sur une superficie de 1166 Km<sup>2</sup>, avec une population de près de 450 milles habitants <sup>1</sup>(49 % de la population totale de la wilaya).

En matière de potentialités hydriques, la moyenne pluviométrique atteint les 690 mm/an sur l'ensemble du bassin, traduisant un apport globalement très important de l'ordre de 800 Mm<sup>3</sup> par an. Ce potentiel est malheureusement se trouve confronté à d'importants problèmes de gestion et de maintenance des ouvrages hydrauliques mis en place, réduisant le volume de mobilisation à moins de 50 Mm<sup>3</sup> par an.

---

<sup>1</sup> RGBH -2008

L'objectif essentiel de notre étude est d'établir, à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG), une cartographie des ressources en eau du bassin versant des Saf-Saf, en particulier la définition des principaux systèmes aquifères et la répartition des puits/forages, et le réseau hydrographique...etc. Pour réaliser cet objectif, il est nécessaire d'utiliser les fonctions et les possibilités d'analyse offertes par les SIG, pour traiter les aspects climatologiques, géologiques, hydrogéologiques qui sont nécessaires avant la mise à jour de la situation des ressources en eau dans notre zone d'étude. Le résultat final pourrait être un document de base pour la gestion et la planification des ressources en eau qui s'adresse aux usagers d'eau et aux décideurs.

Cette étude s'articule autour de quatre chapitres qui traitent respectivement :

1. Cadre générale : C'est une description du bassin de l'oued Saf-Saf (situation Géographique, géomorphologie, Caractéristiques morphométriques,), la géologie qui est consacrée à la description géologique de la région d'étude ...).
2. hydroclimatologie : L'évaluation des composantes du bilan hydrique nécessaire à toute estimation des réserves en eau d'un bassin versant.
- 3- l'étude hydrogéologique : la caractérisation hydrogéologique du bassin, l'identification du système aquifère, sa géométrie, sa condition aux limites...)
- 4- étude hydrochimique : l'interprétation des paramètres physico-chimiques des analyses des différentes sources afin d'identifier les facies chimiques et leurs origines.

# Chapitre 01 :

## Cadre générale de la zone d'étude



## 1-Description du bassin versant

### 1.1. La situation géographique :

Le bassin versant du Saf-Saf, est inscrit dans le territoire de la wilaya de Skikda au Nord-Est de l'Algérie. Faisant partie des bassins côtiers constantinois, il se situe entre le bassin versant de l'oued Guebli l'Ouest et celui de l'oued Kébir ouest à la partie Est. Il est limité au Nord par la mer Méditerranéenne, au sud par Djebel Hadja et Djebel Oucheni, à l'Est par Djebel Alia et Djebel Tengout, à l'Ouest par le massif de Collo et Djebel Boukhallouf.

Le bassin versant du Saf-Saf est inscrit dans le territoire de la wilaya de Skikda, qui s'étend sur une superficie de 4137 km<sup>2</sup>. Il draine une superficie de l'ordre de 1166 Km<sup>2</sup> afin de se déverser à l'Est de la ville de Skikda dans la mer Méditerranée.

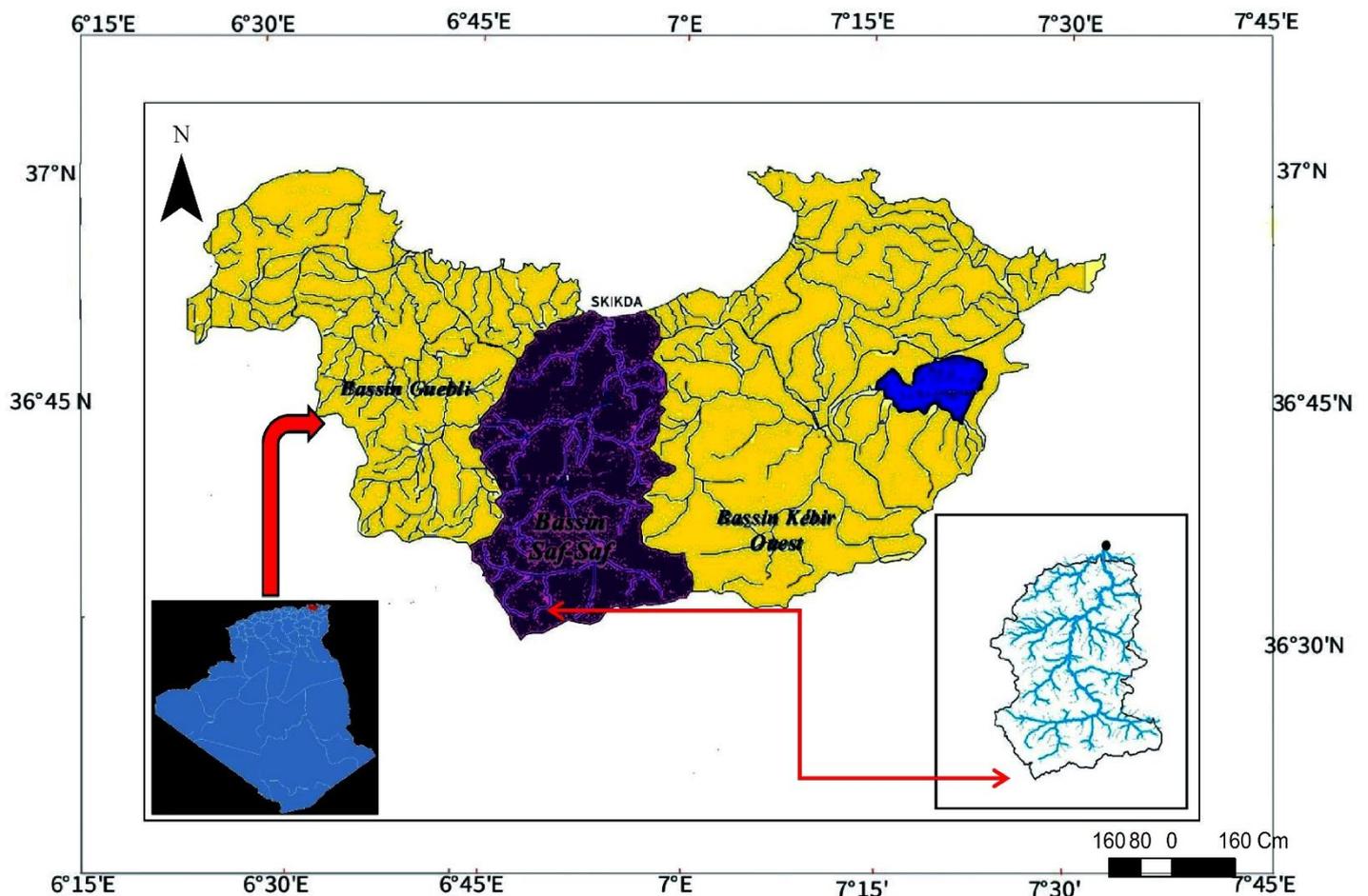


Fig. 01 : Carte de situation géographique du bassin versant de L'oued Saf-Saf

(F. khalfaoui, 2014, modifiée)

## I.1. Géomorphologie :

Le bassin versant d'Oued Saf-Saf draine une série de sous bassin :

- Le sous bassin de Zardezas : drainé par les oueds Khémakhem, Bou Adjeb et Khorfane, de forme allongé.
- Le sous bassin de l'oued Ameer (près de Emjez Ed chich) : il est isolé derrière des Reliefs atteignant 150m à 200m d'altitude.
- Le sous bassin de l'oued Zeramna : de forme allongée drainé par l'oued Zeramna.
- Le sous bassin de l'oued Haddarat : (près de Ramdane Djamel) drainé par l'oued Haddarat
- Le sous bassin de l'oued Nessa (près d'El-Harrouch) : drainé par l'oued Nessa, ce bassin se trouve à une altitude de 80m,
- La plaine de Skikda : de forme triangulaire ayant pour sommet le débouché de la vallée du Saf-Saf. Elle est séparée de ces bassins par une ligne de reliefs de direction Nord-Est Sud-Ouest.

## I.2 Caractéristiques physiques

### I.2.1 Caractéristiques morphométriques

#### I.2.1.1 Superficie

Avec une superficie planimétrée de 1166 km<sup>2</sup>, le bassin versant du Saf-Saf est le plus grand bassin des côtiers constantinois. Cette superficie est délimitée par une ligne de partage des eaux de 198 km étant le périmètre du bassin.

La surface et la périmètre calculé à l'aide de logiciel ArcGis selon les étapes suivantes :

- 1- Téléchargement de l'image satellitaire (DEM) en utilisant le site (Earth Explorer)
- 2- Insertion de l'image satellitaire DEM dans le logicielle
- 3- La délimitation de bassin versant (sera expliqué dans les partie suivant de chapitre), dans la table de contenu en clic droite sur le shapfile de ce bassin, ensuit en clic (OPEN ATTRIBUTE TABLE) – (ADD FIELD) nommée surface par exemple - (CALCULATE GEOMETRY) – (PROPERTY / choix : area UNITIES/ choix km sq. Par exemple).

Les mêmes étapes pour le périmètre en changeant (PROPERTY / choix : périmètre UNITIES/ choix km)

Les résultats sont dans la figure suivante (fig. 02) :

OBJECTID*	Shape*	Id	gridcode	Shape Length	Shape Area	SURFACE	LONGUEUR
1	Polygon	1	2	1,999828	0,117543	1166	198

Fig. 02 : La surface et la périmètre du bassin (source ArcGis)

**I.2.1.2 Forme du bassin :**

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais Aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914)  $K_c$ , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface

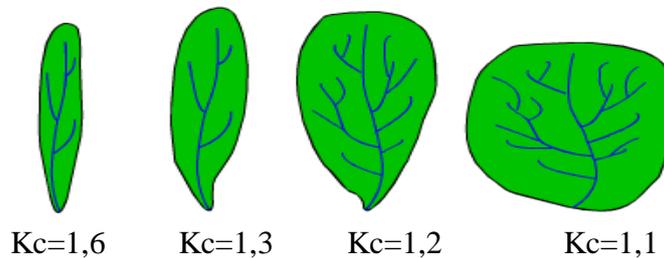
$$K_c = 0.28 \frac{p}{\sqrt{A}}$$

KC : Indice de Compacité de Gravelus.

P : périmètre (km)

A : superficie (km<sup>2</sup>)

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du Bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment Circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée, tel qu'illustré par la figure.



**Forme de bassin versant à partir du coefficient de Gravelius**

Pour le bassin versant du Saf-Saf, l'indice KC a été estimé à 1,62 ; traduisant une forme Allongée du bassin et c'est ce que les dimensions du rectangle équivalent confirment (85.10 et 13.71 km).

**I.2.1.3 Rectangle équivalent :**

Cette notion introduite par L. Roche en 1963, permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Quand l'indice de compacité est supérieur à 1.12, les dimensions du rectangle équivalent Sont obtenues à l'aide des relations suivantes :

$$L_e = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \quad l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Avec :

$L_e$  : Longueur du rectangle équivalent en Km ;

$l$  : Largeur du rectangle équivalent en Km ;

$K_c$  : Indice de compacité ;

$S$  : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

Nous obtenons :

$$L_e = 85.10 \text{ km.}$$

$$l = 13.71 \text{ km}$$

#### I.2.1.4 Répartition des tranches d'altitudes et la courbe hypsométrique :

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude du relief. Elle met en évidence le profil Type du bassin et les pentes ; facteur déterminant de l'écoulement. Il devient donc impératif D'étudier la répartition de la superficie du bassin par tranche d'altitude.

En utilisant du SIG « ArcMap » on peut faire la répartition des superficies en fonction des Tranches d'altitudes dans le bassin versant selon les étapes suivant :

1. Insertion de l'image satellitaire DEM dans le logicielle
2. L'ajoute de shapfile du la limite de bassin versant et le clipper
3. (ARC TOOL BOX) – (SPATIAL ANALYSE TOOLS) – (RECLASSIFY)  
Input raster = DEM  
Reclassification – Classify - Method = (choix de méthode de classification et nombre de classe). – OK
4. Conversion en type vecteur :  
 (CONVERSION TOOLS) - (FROM RASTER)- (RASTER TO POLYGONE)  
Input raster = raster reclassé - OK
5. Regroupement de tous les valeurs de même grid code :  
 (GEOPROCESSING) - (DISSOLVE)  
Input Features = le polygone reclassé dissolve- fild (optional)= grid code
6. Dans la table d'attributaire on trouve la répartition des superficies en fonction des Tranches d'altitudes dans le bassin versant.

Tableau 01 : répartition des superficies en fonction des Tranches d'altitudes dans le bassin versant de saf-saf

Tranche d'Altitude (m)	Hauteur Moyenne Hi (m)	surface partielle SI(km <sup>2</sup> )	Surface Cumulée (km <sup>2</sup> )	Si	surface partielle SI(%)	Surface Cumulée (%)
≤ 200	100	439,8	1166,2		37,71	100
200-400	300	305,2	726,4		26,17	62,29
400-600	500	224,4	421,2		19,24	36,12
600-800	700	128,2	196,8		10,99	16,88
800-1000	900	56,1	68,6		4,81	5,88
≥ 1000	1211	12,5	12,5		1,07	1,07
Total	-	1166.2	-	100	-	-

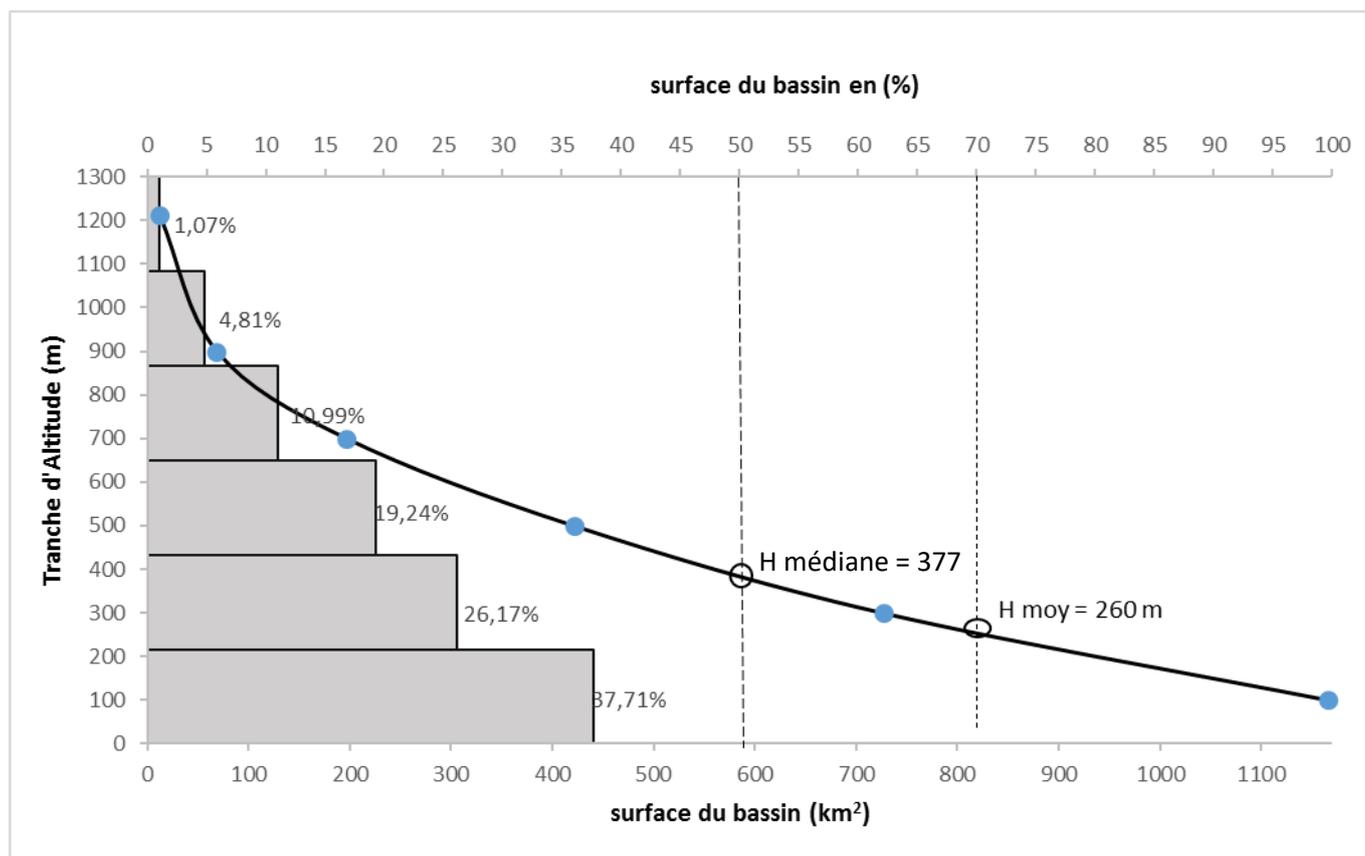


Fig.03 : courbe hypsométrique de bassin versant du saf-saf

- Les secteurs d'altitudes  $\geq 1000$  m sont peu étendue dans le bassin (1,07 %) et correspondent aux montagnes situés au sud du bassin
- Les zones d'altitude comprises entre 600 et 1200 m couvrent  $196.8 \text{ km}^2$  (16.87% de la superficie totale)
- Les zones d'altitude comprises entre 200 et 600 m couvrent  $529.6 \text{ km}^2$  (45.41% de la superficie totale) et concernent l'encadrement des côtés de la vallée du Saf-Saf.
- Enfin, la tranche d'altitudes  $\leq 200$  concerne largement la vallée du Saf-Saf et ses vallées affluentes, et s'étale sur une superficie de  $439,8 \text{ km}^2$  soit 37,71%.
- 

### I.2.1.5 Indices de pente et relief :

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des Comparaisons et des classifications.

#### Indice de pente global ( $I_g$ ) :

L'indice de pente global ( $I_g$ ), exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivelée utile ( $D$ , en m) ; estimée à partir de la courbe hypsométrique ; à la longueur du rectangle équivalent en km ( $L_e$ ), d'où :

$$I_g = \frac{D}{L_e}$$

$D$  étant la dénivelée ( $h_5\%$  -  $h_{95}\%$ ), définie sur la courbe hypsométrique : altitudes dénotées, Respectivement, par  $H_5\%$  et  $H_{95}\%$ . Ceci dit que 90% de la superficie s'étend entre ces altitudes

L'indice de pente global ' $I_g$ ' est estimé à  $9.48 \text{ m / km}$

Mais pour classer le relief du bassin du Saf-Saf, il semble plus fiable de se baser sur la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) au lieu de l'indice de pente global ( $I_g$ ), car ce dernier ne peut être signifiant qu'en cas des bassins de plus de  $25 \text{ km}^2$  de superficie.

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A}$$

La  $D_s$  estimée par  $323.82 \text{ m}$  traduit bien l'importance du volume montagneux, et de même les importantes dénivelées, et donne au relief du bassin du Saf-Saf la qualification de Relief

fort (323.82 m selon la classification de l'O.R.S.T.O.M). Ce relief fort, est un élément déterminant de la réaction du bassin vis-à-vis les pluies.

### I.2.1.6 Classe des pentes :

Dans le bassin du Saf -Saf, on a pu faire ressortir quatre classes de pente

- Les pentes faibles (moins de 3 %) : coïncident avec une surface réduite et limitée à la vallée du Saf -Saf et la plaine de Skikda. C'est une zone de réception et de cumul hydrologique fortement exposée au risque d'inondation.
- Les pentes moyennes (3 - 12,5 %) : fréquentes et couvrent la moitié du bassin, elles se localisent surtout à la partie méridionale et à l'Ouest du bassin ; dépressions de Sidi Mezghiche, Ramdane Djamel et El Harrouch.
- Les pentes fortes (12,5 - 25 %) : occupent la partie Sud du bassin et présentent en général un relief accidenté ou aux piedmonts : piedmont du Djebel El Ghédir, Kef Msouna et Sebargoud.
- Les pentes très fortes (plus de 25 %) : correspondent aux montagnes plus ou moins élevées. Se situent à l'Est et à l'Ouest dans les Gneiss et les schistes du socle kabyle ainsi qu'au Sud du bassin : les Toumièttes Nord et les Toumièttes Sud, le Kef Hahouner, le Djebel Sesnou et le Djebel Hadjar (1166 m) point culminant du bassin versant du Saf-Saf.

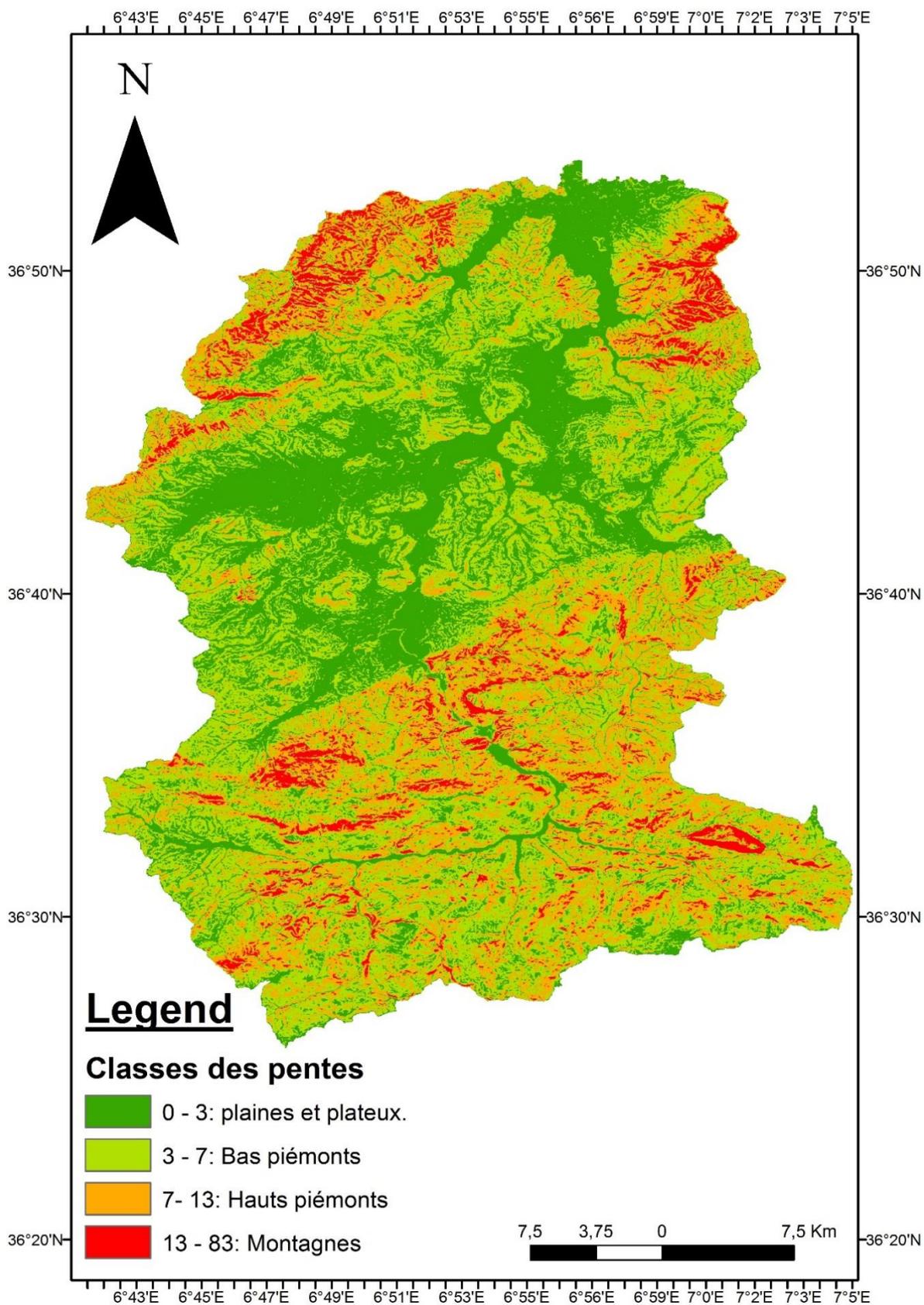


Fig. 03 : Carte des pentes du bassin versant du Saf-Saf.

COD : BOUSEKAA ABDERAHME

Cette carte est réalisée en utilisant le SIG « ArcMap » selon les étapes suivant :

1. Insertion de l'image satellitaire DEM dans le logicielle
2. L'ajoute de shapfile du la limite de bassin versant et le clipper
3. Dans la table de contenu en clic droite sur le shapfile de ce bassin  
(PROPREITE)- (SIMBOLOGY) – (CLASSIFIED) – (CLASSIFY) = (choix de méthode de classification et nombre de classe). – OK  
Choix de couleur – OK
4. Mise en page

**Tableau 02 : Tableau récapitulatif des caractéristiques morphométriques du bassin versant du Saf-Saf.**

Paramètres	Symboles	Unités	Bassin Versant du Saf-Saf
Superficie planimétrie	A	Km <sup>2</sup>	1166.8
Périmètre stylisé	P	Km	198.30
Indice de Compacité	$K_c$	.	1.62
Altitude moyenne	H moy	M	258
Altitude médiane	H50%	M	363
Altitude maximale	Hmax	M	1211
Altitude minimale	H min	M	0
Indice de pente globale	Ig	m/km	9.48
Classe de relief	R	m/km	Fort

## I.2.2 Réseau hydrographique et ses caractères morphométriques :

### I. Constitution du réseau hydrographique

La topographie contrastée, l'agressivité du climat, la lithologie tendre des terrains (marnes et argiles) et les pentes sont les principales causes qui dû à l'installation d'un réseau hydrographique dense.

Oued Bou Adjeb et l'oued Khemakhem où on a réalisé le barrage de Zardezas ; la jonction de deux ces cours d'eaux résulte la naissance du bassin versant de Saf-Saf.

Le sous bassin versant de Zardezas drainé par trois principaux affluents :

- L'oued Khemakhem qui draine la partie Est.
- L'ouest Khorfane qui draine la partie Sud.
- L'oued Bou Hadjeb qui draine la partie Ouest étant de plus grande surface.

A l'aval, l'oued Saf-Saf traverse le bassin versant de Ramdane Djamel dans une direction Sud-Est Nord-Ouest jusqu'à l'agglomération de Ramdane Djamel, puis suivant une orientation Nord-Ouest Nord -Est avant de se jeter dans la mer méditerranée.

Il reçoit les principaux oueds suivants :

- L'oued Zeramna, l'oued Ameer et l'oued Nessa, en rive gauche.
- L'oued Goudi, l'oued Haddaratz et l'oued Maiguen, en rive droit.

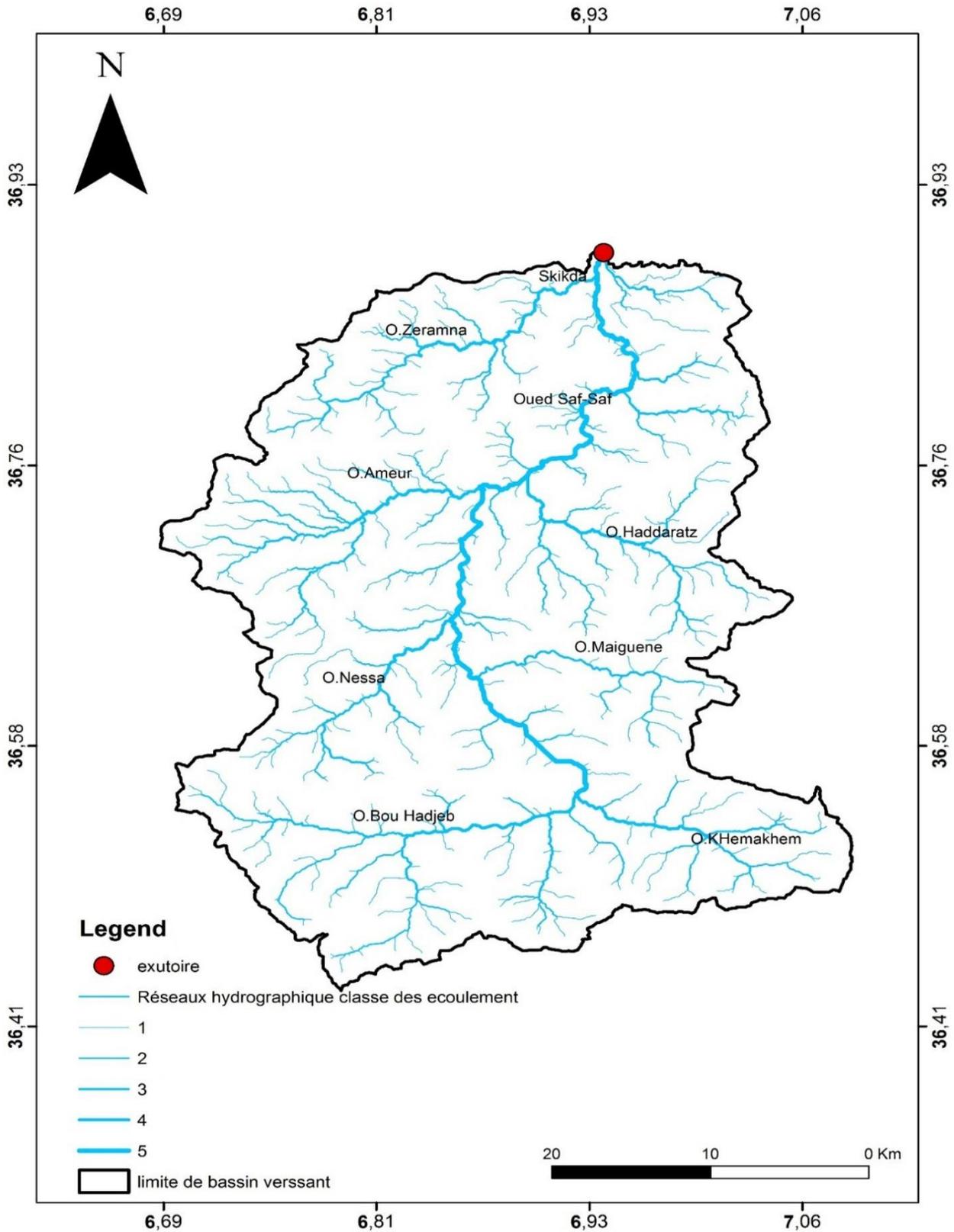


Fig. 04 : Carte du Réseau Hydrographique du Bassin Versant du Saf-Saf

COD : BOUSEKAA ABDERAHMANE

Cette carte est réalisée en utilisant le SIG « ArcMap » selon les étapes suivant :

1. Insertion de l'image satellitaire DEM dans le logicielle
2. (ARC TOOL BOX) – (SPATIAL ANALYSE TOOLS) – (HYDROLOGY) – (FILL)  
= pour la correction des cuvette
3. (ARC TOOL BOX) – (SPATIAL ANALYSE TOOLS) – (HYDROLOGY)- (FLOW DIRECTION) = pour la calcule de la direction des cellule (sens des pentes) – (FLOW ACCUMULATION) - (accumulation des flux)
4. (ARC TOOL BOX) – (SPATIAL ANALYSE TOOLS) – (CONDITONAL)- (CON)  
–  
Input raster = flow accumulation
5. (ARC TOOL BOX) – (SPATIAL ANALYSE TOOLS) – (HYDROLOGY) – (STREAM ORDER)
6. (ARC TOOL BOX) – (SPATIAL ANALYSE TOOLS) – (HYDROLOGY) – (BASIN) = détection de tous les bassins versant qui se trouve dans ce DEM
7. En ajoutant de de shapfile EXUTOIRE (précédemment fait).  
(ARC TOOL BOX) – (SPATIAL ANALYSE TOOLS) – (HYDROLOGY) – (WATERSHED)  
Input flow direction raster = flow direction  
Input raster = exutoire
8. Conversion en type vecteur:  
(CONVERSION TOOLS) - (FROM RASTER) - (RASTER TO POLYGONE) = le sous bassin est délimité sous forme vecteur.
9. Le découpage de réseau hydrographique :  
(DATA MANGMENT TOOLS) – (RASTER PROSSING)- (CLIP)
10. Changement en vecteur:  
(CONVERSION TOOLS) - (FROM RASTER) - (RASTER TO POLYLING)  
“ le bassin versant réaliser ici utiliser dans les autre cartes “
11. Modification de la symbology et la classification de réseau hydrographique
12. La mise en page

## II. Contexte géologique du bassin versant de Saf-Saf :

Chaque étude hydrogéologique est basée principalement sur la constitution géologique des terrains, elle permet d'identifier la susceptibilité ou non de constituer des aquifères à partir de la lithologie des formations ; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

Dans notre zone d'étude (bassin versant de Saf-Saf) le contexte géologique se confond avec l'ensemble de la chaîne alpine des Maghrebides de la petite Kabylie qui fait partie de l'orogène alpin péri-méditerranéen.

Le grand ensemble morpho-structural du bassin de Saf-Saf s'étend à la mer méditerranée au nord et du piedmont sud tellien au sud, il est limité à l'Est par le bassin versant du Seybouse et à l'Ouest par le bassin versant du Kébir Rhumel

### II.1. Cadre géologique

Le grand ensemble morpho-structural du bassin montre du nord au sud la superposition des unités suivant :

- ✓ Le domaine interne : il contient le socle kabyle, la dorsale kabyle (calcaire).
- ✓ Le domaine médian : domaine des flyschs constitué par les séries à caractère flyshs.
- ✓ Le domaine externe : constituer par les séries telliennes

#### II.1.1. Le domaine interne :

##### II.1.1.1 Socle Kabyle ou Kabylide :

Massifs cristallophylliens métamorphiques ou d'un ensemble sédimentaire paléozoïque ou bien recouvert en discordance par des dépôts détritiques constituer principalement par des molasses conglomératiques d'âge Oligocène supérieur, Miocène inférieur, appelés *Oligo-Miocène Kabyle*

Le socle kabyle est constitué par la superposition de deux ensembles métamorphiques et un ensemble principalement sédimentaire. Le métamorphisme du socle est antérieur au silurien et le dernier est charrié avec une fléché de 30 Km environ sur les terrains mésozoïque et cénozoïques.

Dans notre bassin Le socle kabyle affleure :

- Près d'Ain kechra
- De Stora jusqu'au col de Staiha
- Au nord Est du terrain djebel Safia et Djebel Filfila

- Le socle affleure au sud d'El Harrouche et au Nord-Est de Ain Bouziane (séries de grès et de conglomérats d'âges éocènes).
- Au sud du terrain ; Kef Toumiette, Djebel Bouabed, Kef Msouna, et Kef Sebergoud, d'âge mésozoïques et cénozoïques.
- L'Est et l'Ouest de Skikda

(L. Joleaud (1912), G. Betier (1931), M. Roubault (1934), M. Durant-Delga (1955), J.F. Raoult (1974) et J.P. Bouillin (1977), M. Villa (1980). \*

### **II.1.1.2 La dorsale kabyle (calcaire) :**

Ces formations sont essentiellement carbonatées d'âge Mésozoïque et Tertiaire, elles sont développées sur près de 90 Km d'Ouest en Est depuis le Djebel Sidi Driss jusqu'à Zit Emba (Raoult 1974, J.M. Vila 1980).

#### **II.1.1.2.1 Chaîne calcaire interne (La dorsale interne) :**

Ces formations affleurent seulement dans la partie sud de terrain au Kef Toumiet.

#### **II.1.1.2.2 Chaîne calcaire médiane (La dorsale médiane) :**

Ces formations affleurent à la limite sud de Djebel Bou Abed.

#### **II.1.1.2.3 Chaîne calcaire externe (La dorsale externe) :**

Constituées essentiellement par des calcaires massifs du Lias inférieur et des conglomérats gros galets. Elle affleure au Djebel Ghedir et celui de Sidi Driss, à Kef Msouna, Sebergoud et Kef Toumiette Sud (J.f. Raoult 1974).

### **II.1.2 Le domaine médian : domaine des flyschs :**

On distingue trois types de flyschs :

#### **II.1.2.1 Flysch mauritanien : (Néocomien – Lutétien)**

Il est observable sur le versant Nord du Djebel Sidi Driss, riche de grès Albo -Aptien qui Diminue, et laisse la place au bassin de Sidi Mezghich, creusé essentiellement dans les roches Tendres ceci se traduit directement sur le paysage.

#### **II.1.2.2 Flysch massilien :**

Ce sont des Marnes et Argiles dans la grande partie, dans lesquels se développent toutes les formes de glissement et de ravinement. Ce type de Flysch s'étend essentiellement sur le versant Nord du djebel Sidi Driss, sur de faibles étendues au Sud-Ouest de Kef Toumiette au Sud du barrage de Zardezas et au col d'El Kantour (J.f Raoult, 1974).

#### **II.1.2.3 Flyschs numidiens :**

- Elle affleure au niveau de Zardézas
- Au Kef Toumiette à Djebel Bouabed, vers l'Est autour du Djebel Tasselment et Tengout

- Au niveau de la plupart des Koudiats au centre du bassin
- Dans la région d'El Harrouch (Djebel Boussatour et Djebel Bougrina) et aussi à Sidi Mezghich où le phénomène de glissement et de ravinement est spectaculaire, nous rencontrons des alternances des roches dures et roches tendres.

### II.1.3 Domaine externe : domaine tellien

Crétacé moyen à Néogène : série épaisse constituée essentiellement par des marnes

#### II.1.3.1 Séries ultra telliennes :

Constitué principalement par des marnes avec quelques bancs de calcaire plus ou moins épais, ces séries sont apparues au niveau du Djebel Sidi Driss et celui de Safia

#### II.1.3.2 Les séries telliennes :

(D'âge Jurassique) : Elles ne sont pas existées dans le tell oriental, alors elles sont inexistantes dans notre terrain.

#### II.1.3.3 Séries péni telliennes :

(Crétacé à l'Oligocène) : carbonatées et marneuses, qui sont définies au niveau du djebel Zouaouia, dans le massif du Chettaba, près de Constantine, elles affleurent toujours au sud du tell oriental Algérien (A Marre et al 1977, J.M. Vila, 1980).

## II.2 Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques :

Selon leurs appartenances lithologiques, les formations géologiques sont définies par des caractéristiques hydrogéologiques différentes, leur participation à l'alimentation des nappes souterraines et leur capacité d'emmagasiner des eaux est en fonction de leur perméabilité et leur épaisseur.

A partir de la nature lithologique du bassin nous avons identifié deux types de formations. :

### II.2.1 Formations favorables au développement d'aquifères : deux types

#### II.2.1.1 Formations favorables au développement d'aquifères poreux :

Ce sont des formations caractérisées par une perméabilité, comportant des vides interstitiels interconnectés, assimilables macroscopiquement à un milieu homogène et continu.

##### a) Formations du Quaternaires :

Les alluvions et les dunes anciennes, sont les deux formations Quaternaire les plus dominantes dans la zone d'étude

#### 1 Les alluvions : On distingue trois types :

- Alluvions actuels : Ce sont des sables, des limons formant le lit moyen de Saf-Saf et celui de Zeramna.

- Alluvions récentes : d'âge Néoplatonicien, ce sont des limons et des cailloux roulés du fond des vallées.
  - Alluvions anciennes : d'âge pléistocène se sont des terrasses de limons et de cailloux roulés à des épaisseurs de 20 à 50 m.
    - De 15 à 20 m le lit de l'oued Saf-Saf et Zeramna
    - De 30 à 50 m le talweg du Saf-Saf à El Harrouch.
- 2 Dunes anciennes :** Trois niveaux sont observés :
- Niveau inférieur : atteint une altitude de 40 à 50 m, découpé par les alluvions récentes du Saf-Saf.
  - Niveau moyen : s'élève jusqu'à 80 m il est découpé par les alluvions anciennes.
  - Niveau supérieur : est développé sur les schistes paléozoïques, Ceci est observé en plein forêt de Djebel El Alia dans la partie Nord-Est du secteur d'étude.

## b) Formations du Tertiaire :

### 1. Sables argileux

Rencontrés au Nord de Salah Bouchaour et à l'Est de Emjez Edd Chich, représente le terme supérieur la série Nummulitique de la région, avec des sables argileux jaunes ou gris.

### 2. Grés Numidiens

Ce sont des grés jaunâtres à grains fins, ils sont présents à divers niveaux des minces lits argileux sableux, ce faciès gréseux prédomine au Djebel Tfifra, à Ramdane Djamel à l'Est du bassin vers Kef Serrak.

### 3. Grés et poudings

Les poudings sont formés de cailloux roulés de micaschistes, de gneiss et surtout de quartz filonien ou s'intercalent les assises gréseuses ou argileuses, la puissance de l'ensemble varie de 10 à 50m et il est bien développé au niveau de Dj Soubouyou, à machtat Sidi Amar au Nord-Ouest de l'oued Aneur au Sud d'El Hadaïek.

### 4. Grés quartzeux

Développés au niveau de Djebel Sensnou au Sud et au Sud-Ouest du barrage de Zardézas.

### 5. Argiles et grés

Ce faciès prédomine au niveau du barrage de Zardézas.

### 6. Grés et conglomérats

Existent à Koudiat El Fedjel à l'Est d'El Harrouch, Ce sont des grés jaunâtres et rougeâtres, souvent micacés intercalés de lits argileux et à la base des bancs de poudings.

## II.2.1.2 Formations favorables au développement d'aquifères Karstiques :

Elles sont caractérisées par une perméabilité en grand, et une lithologie différente du milieu poreux. Ces formations sont essentiellement carbonatées. Elles constituent un milieu hétérogène et discontinu où l'eau s'écoule à travers un réseau de fissures ouvertes interconnectées (conduite Karstique) à fonction collectrice ou distributrice avec l'existence possible de cavités de grande capacité.

**a. Calcaires à nummulites :**

Développés au niveau de Kef Sebergoud, de Kef Msouna et au Nord et Sud de Kef Toumiette.

**b. Argiles gréseuses et calcaire**

Ce sont des argiles brunes ou rosâtres qui renferment des alternances de grés jaunes, de calcaires gréseux à nummulites et de brèches à petits éléments.

**c. Marnes et calcaires :**

Développés au Sud de Kef Toumiette.

**d. Calcaires liasiques :**

Ils sont importants au niveau de Djebel El Ghédir, ce sont de gros bancs à stratification difficilement discernable.

**e. Calcaires dolomitiques :**

Ils sont développés au niveau de Djebel Tasselment et Djebel Tengout à l'Est du bassin. Ces formations carbonatées d'âge Jurassique ont été reconnues de l'ensemble carbonaté est de 250 m.

**f. Calcaires cristallins (cipolins) :**

Ils sont formés essentiellement par des lentilles peu importantes bleuâtres, ils se trouvent au Nord-Ouest du bassin.

Ce type de formations géologiques facilite le ruissellement des eaux de surface. Ces eaux se dirigent vers les chaabats et les oueds qui vont à leur tour participer à l'alimentation de la nappe souterraine.

Les formations perméables occupent plus de 50% de la superficie totale du bassin. Grâce à la perméabilité de ces formations géologiques, les eaux de précipitations s'infiltrent à travers des pores pour l'alimentation et le renouvellement des eaux souterraines.

### **II.2.1.3 Formations non favorables au développement d'aquifères :**

**a. Argiles noires :**

Ce sont de minces lits de grès jaunes qui constituent le passage graduel des argiles noires au grès numidien, trouvées dans la partie Sud vers El-Harrouch à Emjez Edd Chich et au Sud de Ain Bouziane, à l'Est et l'Ouest de Ramdane Djamel, et à l'Est et l'Ouest de Salah Bouchaour.

### **b. Formations métamorphiques des terrains primaires**

#### **1. Schistes et phyllades :**

À l'Ouest de Skikda : une grande partie de Djebel El Alia et Djebel Oyala

Au Sud de Skikda : à Djebel Greibissa et à Kef Msouna

#### **2. Schistes micacés :**

Se retrouvent au Nord de Sidi Mezghiche et au niveau de l'oued Zeramna.

#### **3. Schistes granulitisés (gneiss) :**

Se retrouvent au niveau de Djebel El Alia, au Nord-Est et au Nord-Ouest du bassin.

#### **4. Micaschistes granulitisés (gneiss schisteux) :**

Ils se trouvent au Nord-Ouest du terrain au niveau du Djebel Messiquéne

### **II.3 Tectonique du bassin :**

Les structures géologiques de la région sont le résultat des mouvements compressifs d'orientation Nord-Sud, Nord-Ouest, Sud-Est caractérisés par une tectonique tangentielle et de nombreux plis et failles.

Les principales phases tectoniques seront ici brièvement résumées :

- La phase Atlasique (fini lutétienne) ; qui est des mouvements compressifs d'orientation Nord-Ouest, Sud-Est caractérisés par une tectonique tangentielle post paléogène.
- La phase Alpine (Miocène) ; ce sont des mouvements compressifs d'orientation Nord-Sud caractérisés par de nombreux plis et failles.

Des nombreuses déformations tectoniques à la périphérie du bassin versant sont laissées par Ces deux phases majeures :

- L'Est est affecté par une cassure profonde de direction Est- Ouest qui a donné naissance à Djebel Filfila

- Au Sud vers Kef Sebergoud, M'souna et Kef Toumiette Nord, ces formations carbonatées de la chaîne calcaire interne présentent des entablements dans lesquels se façonnent des formes Karstiques (présence de fissures d'orientation Nord-Est, Sud-Ouest causées par la phase Atlastique) tiré du cadre structurale (domaine interne)
- A l'Ouest de Skikda et précisément au Sud-Ouest de Stora on rencontre les calcaires cristallins emballés dans les micaschistes et gneiss, résultat d'une dislocation très importante en relation avec le charriage de la chaîne Numidique, qui a donné le grand pli de la petite Kabylie d'orientation NNE - SSW.
- La dépression Numidique de Ramdane Djamel occupe une partie considérable de la région, et forme une aire synclinale de 20 Km entre le massif Paléozoïque de Skikda au Nord et le chaînon Liasico-Eocène de Zardézas au Sud.

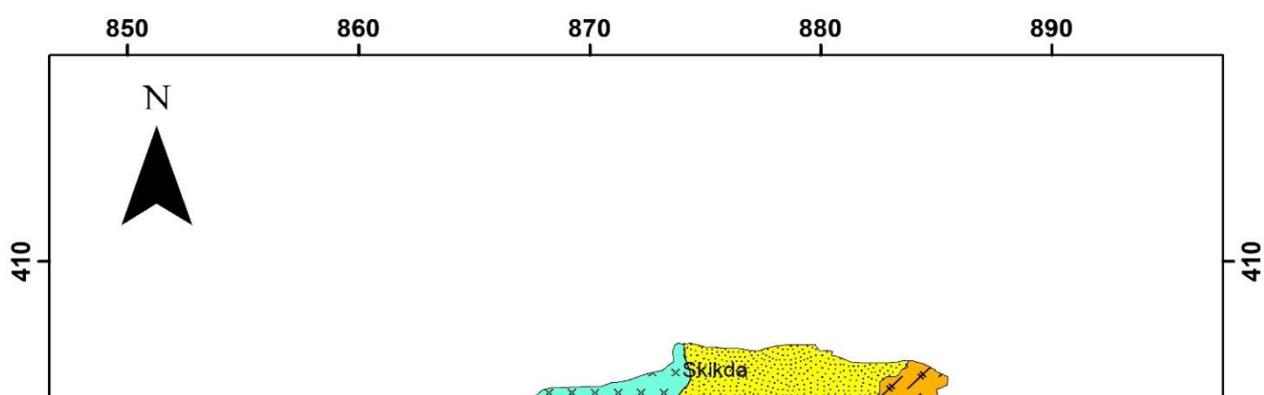
### Conclusion :

Le bassin versant du Saf-Saf appartient au Tell oriental algérien qui n'est qu'une partie de l'atlas tellien.

La géologie de la région est très complexe. En effet, les études menées ont montré que le tell oriental algérien est constitué par un empilement de nappes ; on a du Nord vers le Sud : le socle Kabyle et la dorsale Kabyle, la série des flyschs (mauritanien, massylien, numidien et ultra tellien), la série des grés numidiens et la nappe néritique du constantinois.

Cette étude montre aussi que la dorsale kabyle se compose d'unités nettement différenciées par leurs séries stratigraphiques ; de même que l'âge du numidien est difficile à préciser. Le bassin du Saf-Saf est limité donc au Sud par des formations purement sédimentaires qui appartiennent au môle néritique Constantinois, et constituées généralement par des formations carbonatées d'âge Crétacé (Kef Toumiettes et Kef Hahounner). Quant aux formations cristallophylliennes d'âge Paléozoïque, elles le limitent à l'Ouest par le massif de Collo et au Nord-Est par Djebel Filfila et Djebel El Alia. Les formations alluvionnaires côtoient l'oued du

Saf-Saf dans toute sa trajectoire.



**Legend**

-  Flyschs Crétacé inférieur
-  Schiste Série ou Nummulitique
-  Roche metamorphique phyllade
-  Flyschs de Ziane et Conglomerat Néocomien à nummilitique
-  Calcaire friable jurasique au Lutétien superieur
-  Marne,série Telliennes ou ultra telliennes
-  Argile sous numidienne
-  Formation Quaternaires : alluvions et sables
-  Gres numidien oligocène
-  roche metamorphique : Gneiss
-  calcaire et dolomie dur permo-tris au nummilitique.mdb

**Fig. 05 : carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf**

**COD : BOUSEKAA ABDERAHME**



**Légende:**

	Granites, grano-diorite, microgranites, Dolerites et rhyolites.		Séries typiques (Néocomien à Lutétien supérieur mameuses et mammo-calcaires à crétacé clair.
	Oligo-Miocène Kabyle, Olistostromes à flyschs resédimentés		Grés numidiens et séries mixtes.
	Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).		Flyschs Mauritanien: séries internes, Séries médianes et séries externes.
	Socle métamorphique de la petite Kabyle		Chaîne calcaire: Paléozoïque à Lutétien.

**Fig. 06 : Carte géologique de la région de Skikda extrait de la carte géologique de l'extrême Nord-Est Algérien (D'après J.M. VILA. 1978)**

**Chapitre 02 :**

**Hydroclimatologie**



## Introduction :

L'hydroclimatologie est un outil indispensable pour toute l'étude hydrologique. Elle permet de définir les caractéristiques des eaux de surface et des eaux souterraines, car le comportement des cours d'eau est conditionné par des paramètres principaux qui régissent l'alimentation et le déficit. Ces paramètres sont la pluviométrie et la température. Leur étude consiste à donner un aperçu sur leur répartition dans le temps et dans l'espace, qui permet d'établir le bilan hydrique et par conséquent d'estimer le taux d'infiltration, l'évaporation, l'évapotranspiration...

Le bassin du Saf-Saf d'une superficie de 1166 km<sup>2</sup>, disposait de 15 stations pluviométriques dont 10 fonctionnent à l'heure actuelle. Parmi ces dernières, nous avons retenu la station

Pour cela Des valeurs moyennes des données climatiques d'une période de dix ans (10) ont été utilisées pour cette étude.

### I. Stations de mesure :

L'étude climatologique du bassin versant du Saf-saf est basée sur l'interprétation des données météorologiques enregistrées au niveau de la station de Skikda (Sonatrach).

Dans cette station, on a des observations faites sur une période de 10 ans (2007/2008, 2016/2017).

Les coordonnées de cette station sont consignées dans ce tableau :

**Tableau. 03 : Coordonnées géographiques de la station de mesure.**

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	Longitude	Latitude	Code de la station	Période d'observation
Skikda	850.43	405.15	1	06° 56 ' E	36° 52' N	03.11.02	2007/2008- 2016/2017

## II. Paramètre météorologique déterminants :

### II.1 Précipitation :

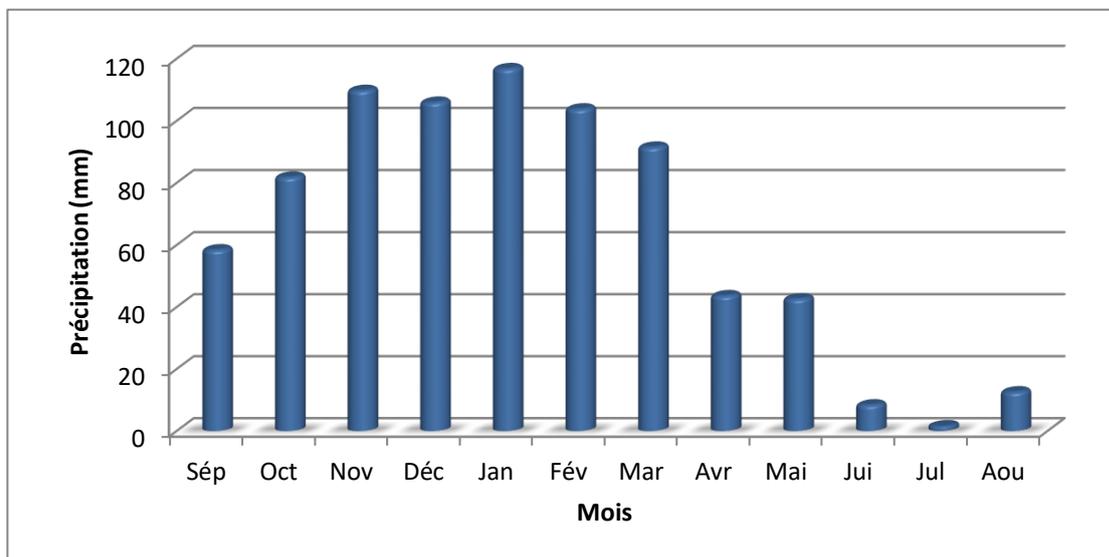
Les précipitations sont facteur important du climat, conditionnent le comportement hydraulique des cours d'eaux et les variations des niveaux des nappes souterraines. La pluviométrie est la principale source d'alimentation du bassin étudié.

### II.1.1 Précipitations moyennes 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. C'est ce que montre le tableau suivant :

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
P mm	58.46	81.86	109.81	106.01	116.83	103.84	91.54	43.69	42.69	8.45	1.62	12.67

**Tableau .04 : Répartition des précipitations mensuelles (mm) à la station de Skikda (sonatrach) (2007/2008-2016/2017).**



**Fig. 07 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm). Station de Skikda (Sonatrach) (2007/2008 -2016/2017)**

Les valeurs maximales des précipitations s'observent durant de dix années (2007/2008-2016/217), au mois de Janvier avec une moyenne de 116.83 mm, et celles minimales au mois de Juillet avec 1.62 mm.

### II.1.2 Précipitations moyennes saisonnières :

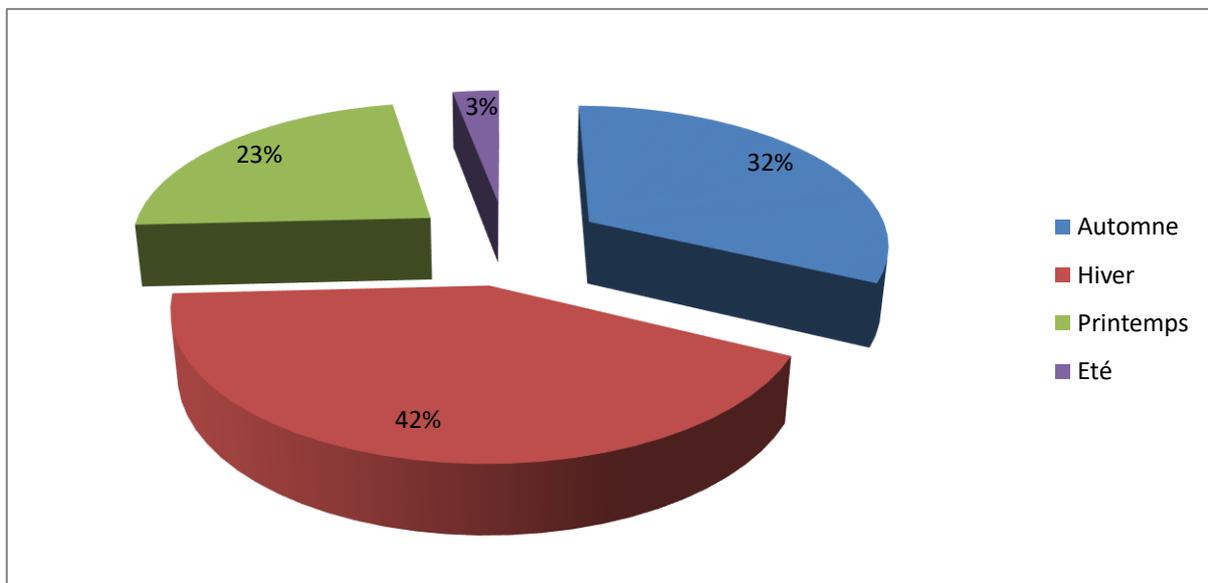
L'étude des précipitations saisonnières permet de donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon les quatre saisons.

Elle se fait de la façon désignée dans le tableau suivant :

**Tableau 05 : Répartition saisonnière des précipitations à la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Total
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
P (mm)	250.13			326.68			177.92			22.74			777.50
P (%)	32.17			42.02			22.88			2.93			100

**Fig. 08 : Précipitations moyennes saisonnières en (%). Station de Skikda (2007/2008-**



**2016/2017)**

D'après le tableau n°08 et le figure ci-dessus, on remarque que la saison hivernale est la plus pluvieuse au niveau du bassin versant du Saf-saf, avec une moyenne de 326.68 mm soit 42.02 % des pluies totales annuelles.

L'automne et le printemps sont les saisons où la pluviométrie est moyenne de 250.13 mm et 177.92 mm respectivement.

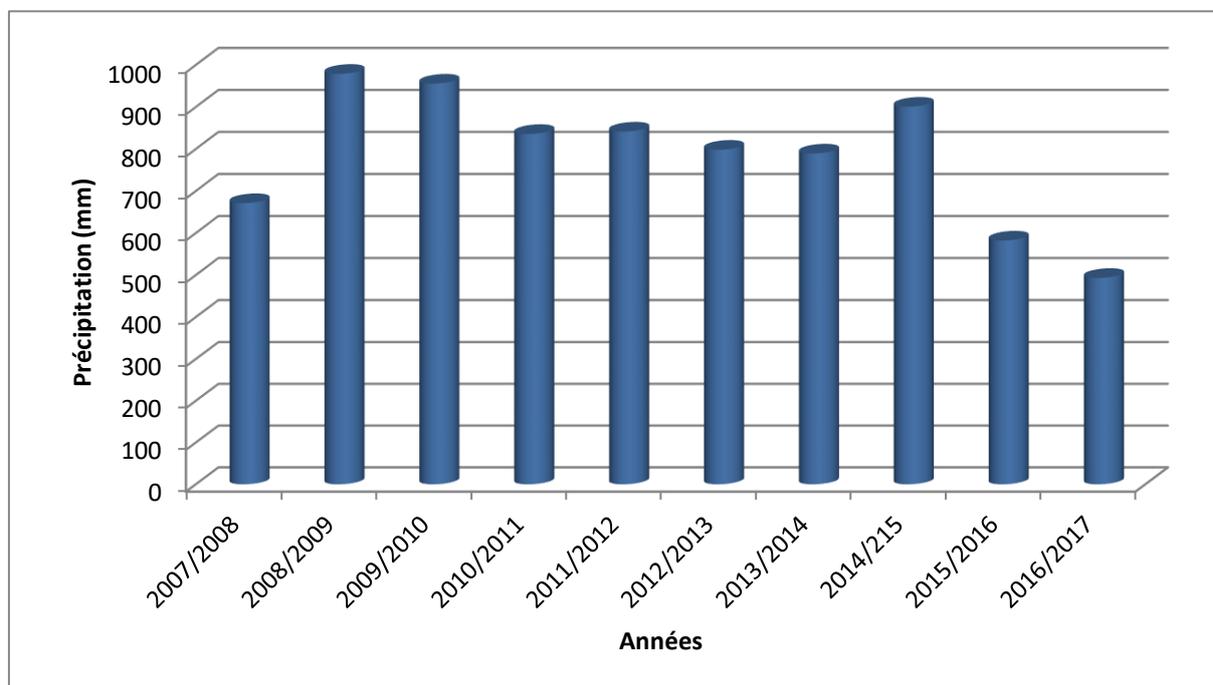
L'été qui est la saison la plus sèche où la pluviométrie est faible avec une moyenne de 22.74 mm soit 2.93 % de la totalité des pluies.

### II.1.3 Précipitations moyennes annuelles :

L'étude des précipitations annuelles de la station de Skikda montre une grande différence entre l'année la plus arrosée (2008-2009) avec 978.9 mm et l'année la plus sèche (2016/2017) avec 493.2 mm.

Années	Précipitations annuelles en (mm)
2007/2008	664.1
2008/2009	978.9
2009/2010	955.6
2010/2011	835.8
2011/2012	841.5
2012/2013	798.2
2013/2014	789.3
2014/2015	900.7
2015/2016	582.2
2016/2017	493.2
Moy	777.47

**Tableau 06 : Moyenne des précipitations annuelles en (mm) (2007/2008-2016/2017) de la station de Skikda (Sonatrach)**



**Fig 09 : Variation des précipitations moyennes annuelles (mm) Station de Skikda (Sonatrach) (2007/2008 -2016/2017)**

Les précipitations moyennes mesurées au niveau du bassin versant du Saf-saf sont caractérisées par des irrégularités interannuelles. Les hauteurs annuelles des précipitations au cours de cette période (2007/2008-2016/2017) ont varié entre 493.2 mm en (2016/2017) et 978.9 mm en (2008/2009).

**II.1.4 Le coefficient pluviométrique (CP) :**

La variabilité des données mensuelles de précipitations est représentée par un paramètre, qui permet de distinguer les années excédentaires et les années déficitaires. Il s'agit du « coefficient de précipitation » (CP) obtenu à partir du rapport de la pluviométrie annuelle à la pluviométrie moyenne de l'ensemble de la série d'observations. Elle est donc proportionnelle à la pluviométrie.

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

- Cp : Coefficient pluviométrique.
- P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).
- P moy : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

Si : CP > 1            Une année est dite excédentaire (AE)

Si : CP < 1            Une année est dite déficitaire (AD)

**Tableau.07 : les résultats du coefficient pluviométrique (CP).**

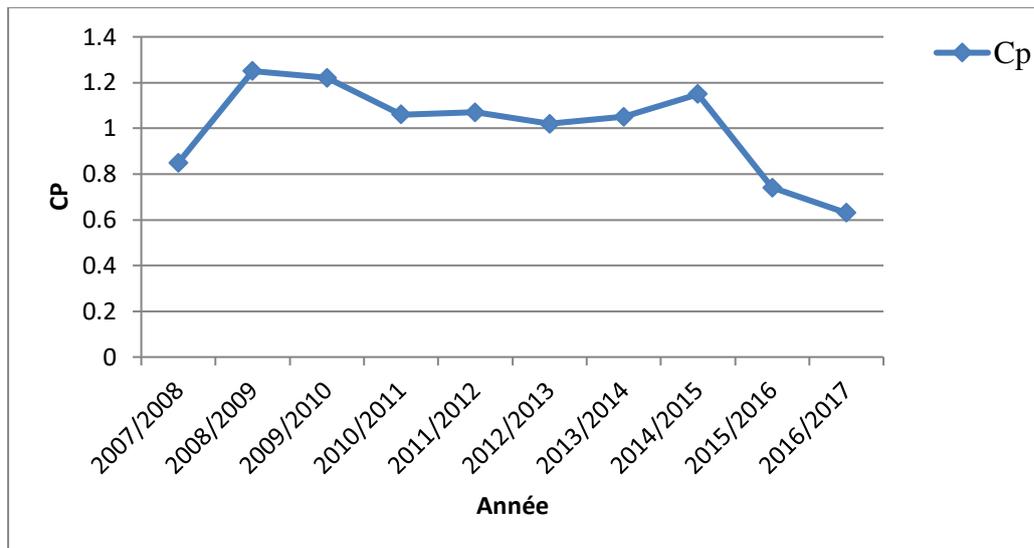
Année	P (mm)	Cp	type de l'année
2007/2008	644.1	0.85	AD
2008/2009	978.9	1.25	AE
2009/2010	955.6	1.22	AE
2010/2011	835.8	1.07	AE
2011/2012	841.5	1.08	AE
2012/2013	798.2	1.02	AE
2013/2014	789.3	1.01	AE
2014/2015	900.7	1.15	AE
2015/2016	582.2	0.74	AD
2016/2017	493.2	0.63	AD

L'examen du tableau ci-dessus montre que dans la série de dix années d'observation, les trois premiers sont déficitaires, la plus sèche est (2016/2017) avec une pluviométrie de 493.20mm.

Les sept années restantes sont excédentaires, l'année hydrologique la plus arrosée est

(2008/2009) avec une pluviométrie de 978.90mm.

La distinction entre les deux types d'année est plus visible sur le graphe suivant :



**Fig. 10. Diagramme de CP dans la station du Skikda (2007/2008-2016/2017)**

## II.2 Température :

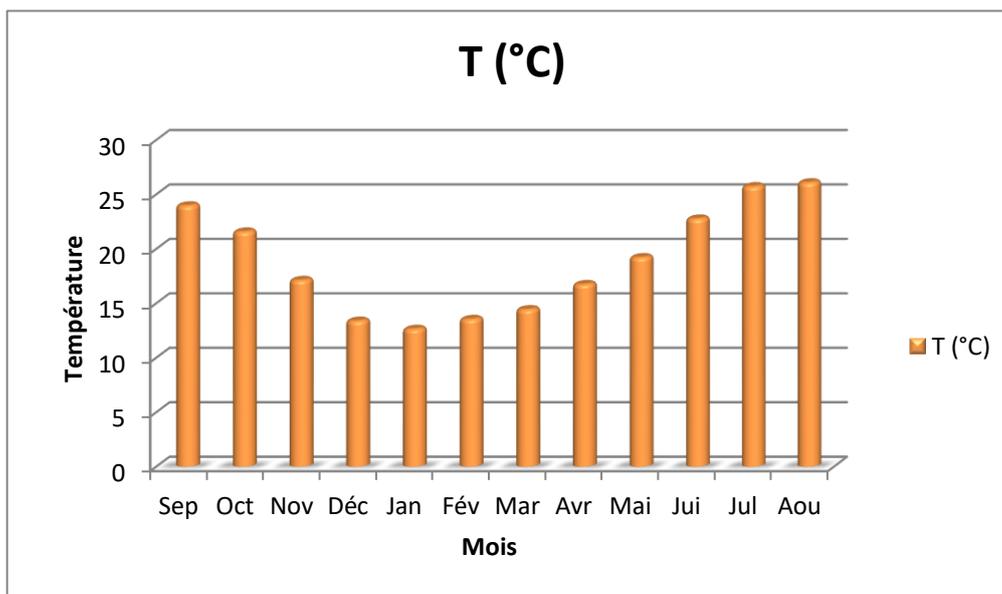
Les températures sont l'un des éléments majeurs influençant le climat du bassin.

Où les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (précipitations, humidité, etc.), le phénomène d'évaporation et par la même, le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

### II.2.1 Variation des températures moyennes mensuelles :

**Tableau. 08 : températures moyennes mensuelles (°C) à la Station SKIKDA (2007/2008-2016/2017).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
T(°C)	23.98	21.58	17.13	13.39	12.64	13.55	14.44	16.75	19.22	22.7	25.74	26.10



**Fig. 11 : variations des températures moyennes mensuelles de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

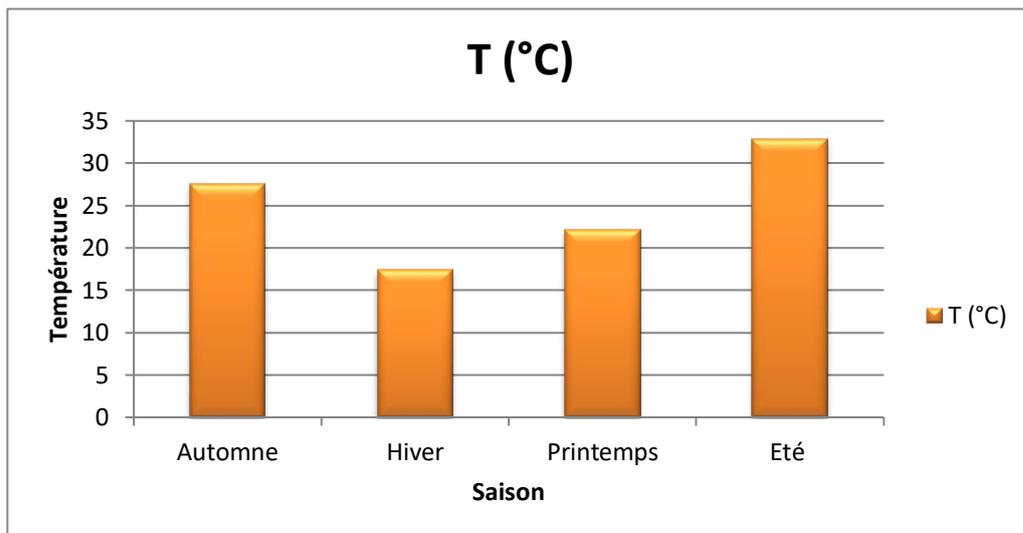
Dans le bassin du Saf-Saf, la valeur maximale des températures est observée au mois d’Aout avec une valeur de l’ordre de 26.10°C, par contre la valeur minimale ne dépasse pas 12.64 °C, elle est observée au mois de Juillet.

**II.2.2 Variation des températures moyennes saisonnières :**

**Tableau .09 : Répartition saisonnière des températures moyennes à la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C)	20.90			13.19			16.80			24.87		

Les résultats du tableau sont représentés dans le diagramme suivant :



**fig. 12. Températures moyennes saisonnières en (°C) de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

D'après les données ci-dessus, on remarque que le maximum de température enregistrée durant l'été (la saison la plus chaude) et le minimum durant la saison hivernale (la saison la plus froide).

**II.2.3 Variation des températures moyennes annuelles :**

**Tableau. 10 : Températures moyennes annuelles (°C) de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

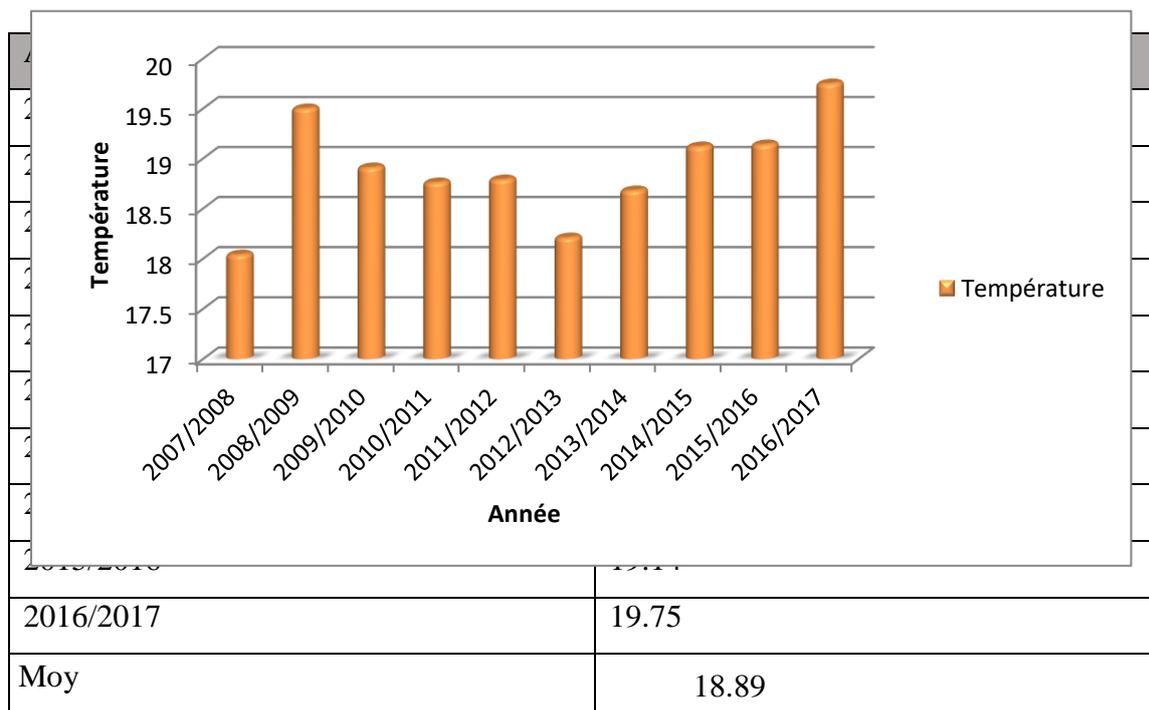


fig. 13 : Variation de la température moyenne annuelle (°C).

**II.3 Le vent :**

Le vent est l'un des facteurs les plus déterminants de la pluviométrie, de l'évaporation et par conséquent du climat.

Les vents dominants dans le bassin du Saf-Saf sont ceux du Nord, Nord-Ouest, ils sont les plus fréquents en saison froide.

**II.3.1 Vitesses du vent moyennes mensuelles :**

**Tableau. 11 : Vitesses moyennes mensuelles du vent en m/s station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou
Vent (m/s)	3.28	3.34	3.40	3.62	3.77	3.94	3.54	3.33	3.23	3.20	3.26	3.19

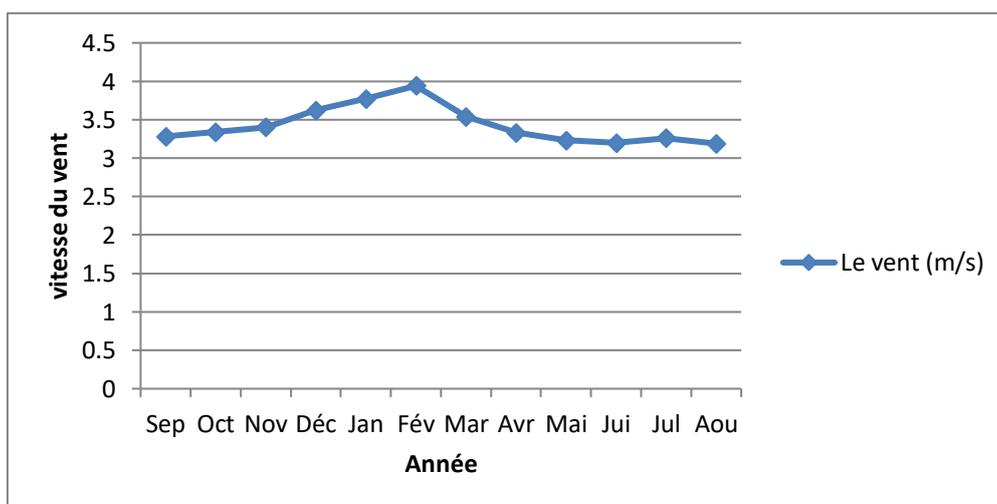


fig. 14 : Variations mensuelles des vitesses du vent à la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)

D'après les données des moyennes des vents de cette station sur la période (2007/200/-2016/2017), on constate que la fréquence de vitesse des vents atteint son maximum en hiver (mois de février) avec 3,94 m/s, ce qui favorise le déplacement des nuages et par conséquent la répartition des précipitations sur l'étendue du bassin. Cependant, le minimum des vents est enregistré en mois d'aout avec 3,19 m/s.

### II.3.2 Vitesses du vent moyennes annuelles :

D'après le tableau et le graphe ci-dessous, on remarque que les vitesses du vent les plus fortes sont marquées en l'année (2008/2009) il a été estimé à environ 3.65 m/s, et par contre la vitesse du vent la plus faible a été enregistrée en (2013/2014) avec une moyenne de 3.09 m/s.

**Tableau. 12 : Vitesses moyennes annuelles du vent en m/s station de Skikda  
(2007/2008-2016/2017)**

Année	Vitesse du vent (m/s)
2007/2008	3.49
2008/2009	3.65
2009/2010	3.61
2010/2011	3.52
2011/2012	3.41
2012/2013	3.41
2013/2014	3.09
2014/2015	3.35
2015/2016	3.46
2016/2017	3.29

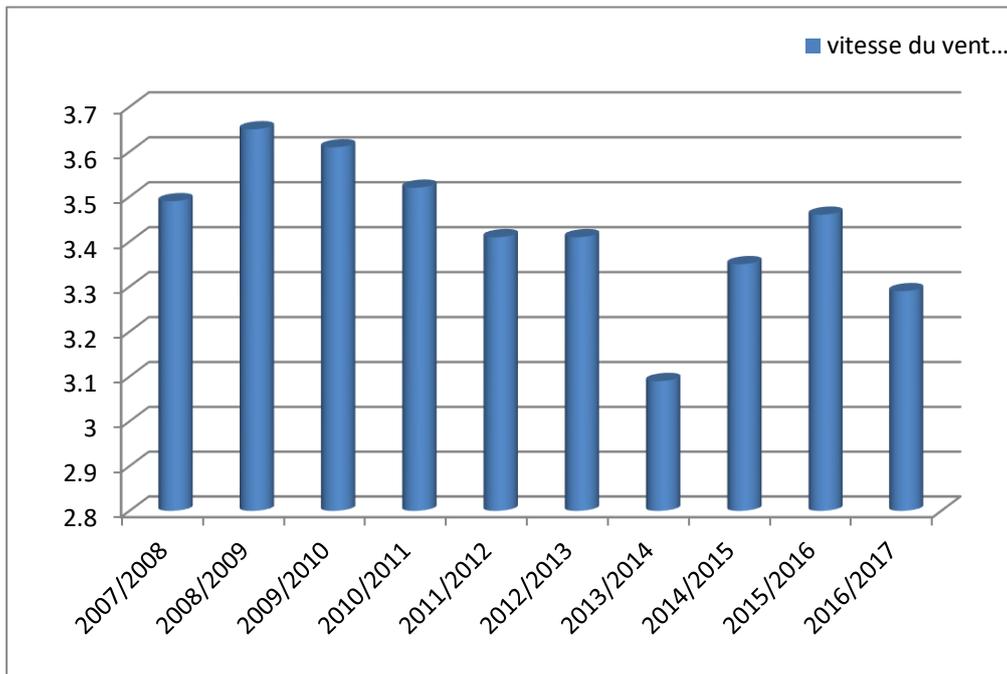


fig. 15 : Variations interannuelles des vitesses du vent en (m/s) (2007/2008-2016/2017) à la station de Skikda

### III. Détermination du type du climat :

#### III.1 L'indice d'aridité (Indice De Martonne) :

Il est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles :

$$A = P / T + 10$$

Avec :

- **A** : indice d'aridité annuelle
- **P** : précipitations moyennes annuelles en mm.
- **T** : températures moyennes annuelles en mm.

Selon De Martonne, si :

- $A < 5$  : le climat est hyper aride.
- $5 < A < 10$  : le climat est très sec.
- $10 < A < 20$  : le climat est sec.
- $20 < A < 30$  : le climat est tempéré.
- $A > 30$  : le climat est humide

$$A = 777.47 / 18.89 + 10, \quad A = 26.91$$

Le résultat de l'indice d'aridité trouvé pour la station de la zone d'étude (Skikda) montre que le climat est du type tempéré caractériser par deux saison lune humide et froide et l'autre sèche et chaude.

### III.2 Diagramme pluvio-thermique :

Ce diagramme permet de déterminer les saisons sèches et humides.

On établit le diagramme pluvio-thermique en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles correspondantes à la même période d'observation à condition que  $P=2T$  (courbe de Gausson et Bagnouls).

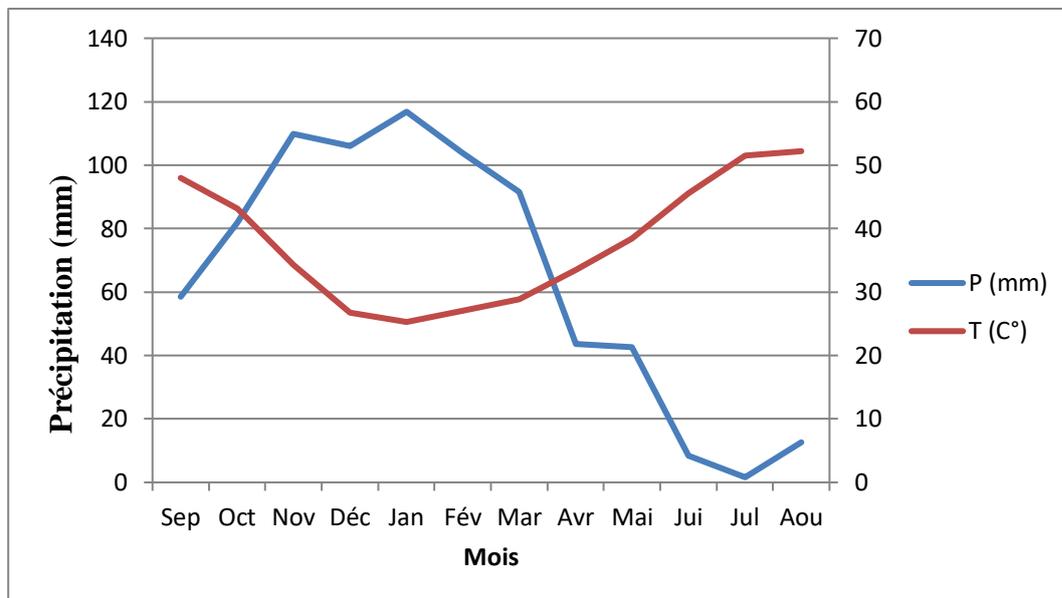


Fig.16 : Le diagramme pluvio-thermique de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)

Le bassin versant du Saf-Saf possède une saison humide qui s'étend du mois de novembre au mois de mars et d'une saison sèche qui s'étend du mois d'avril au mois d'octobre.

### III.3 Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration potentielle et réelle.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (Castany 1982) :

$$P = ETR + R + I$$

Avec

- **P** : précipitation moyenne annuelle (mm).
- **ETR** : l'évapotranspiration annuelle (mm).
- **R** : ruissellement moyen annuel (mm).
- **I** : infiltration moyenne annuelle (mm).

### III.3.1 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

C'est la somme des processus de l'évaporation et la transpiration de l'eau sur une surface donnée et pendant une période définie, les paramètres agissant sur ce processus sont la température de l'air, la température de l'eau, le degré d'humidité du sol, le rayonnement solaire, le vent et la pression atmosphérique.

On peut l'estimer avec la formule de L. TURC (1961) :

$$\text{ETR} = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \text{ (mm/an)}$$

Avec :

- $L = 300 + 25T + 0.05 T^3$  (facteur qui tient compte des échanges de chaleur).
- $P$  : Précipitation moyenne annuelle en mm.
- $T$  : Température moyenne annuelle en °C.

**Tableau 13. Résultats de l'ETR dans la station de Skikda (2007/2008-2016/2017).**

P (mm)	ETR (mm)	ETR (%)
777.5	497.6	64

### III.3.2 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte

De l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

$$\text{ETP} \left( \frac{\text{mm}}{\text{mois}} \right) = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a \times k$$

$$I = \sum I$$

$$i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = \left( \frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

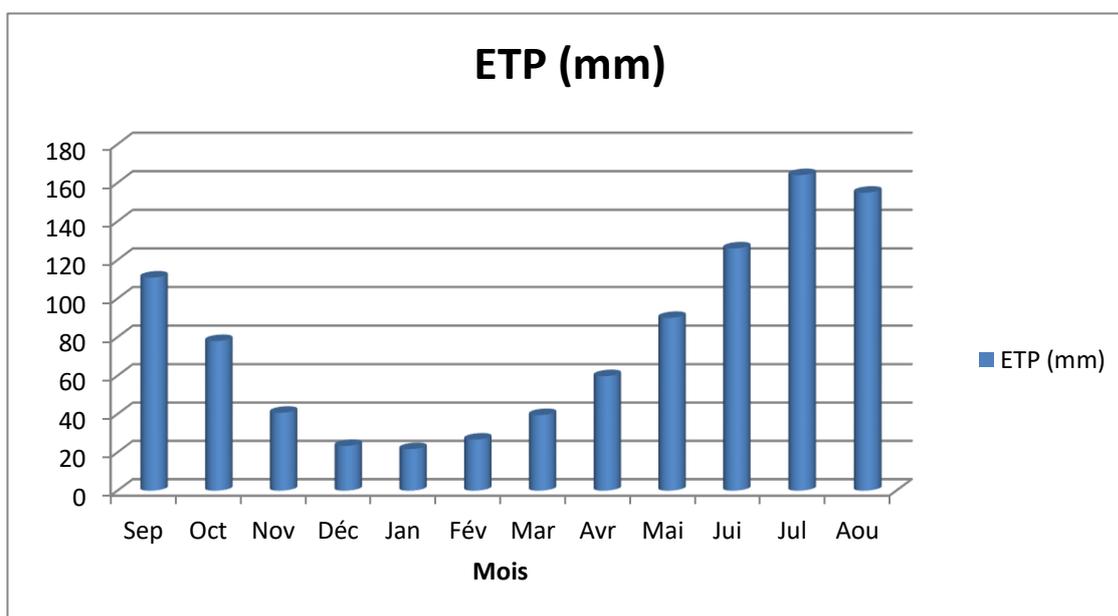
**Avec:**

- $T$  : température moyenne du mois considéré en 0C
- $ETP$  : évapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.
- $K$  : coefficient de correction de l'altitude.

- **I** : indice thermique annuel.
- **i** : indice thermique mensuel.

**Tableau 14 : Résultats de l'ETP par la formule de Thorntwaite (2007/2008-2016/2017).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Totale
<b>K</b>	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.35	1.24	-
<b>i</b>	10.7	9.2	6.5	4.4	4.1	4.5	5.0	6.2	7.7	9.9	12.0	12.2	92.3
<b>ETP (mm)</b>	110.9	78.0	40.7	23.4	21.7	26.7	39.5	59.8	90.0	126.0	164.0	154.9	935.6



**fig. 17 : Variation de l'évapotranspiration potentielle dans la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

En examinant les variations de l'évapotranspiration potentielle, on remarque que l'ETP est

P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
777.5	935.6	178.98	23.02

plus intense pendant la période sèche (surtout les mois de juillet et août, il a atteint 164 mm, 154.9 mm respectivement) et diminue pendant la période humide (la saison hivernale).

### III.3.3 Estimation du ruissellement (R) :

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau sera soumise à l'infiltration qui alimentera les nappes souterraines.

**Tableau 15 : Résultats du ruissellement dans la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

$$R = P3/3. (ETP)^2$$

Avec :

- **R** : ruissellement (mm)
- **P** : précipitation moyenne mensuelle (mm)
- **ETP** : évapotranspiration potentielle (mm)

### III.3.4 : Estimation de l'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.

D'après le bilan hydrologique l'infiltration efficace peut être calculée comme suit :

$$P = ETR + R + I$$

**Donc: I = P – R - ETR**

$$I = 777.5 - 178.98 - 497.6 = 100.92 \text{ mm}$$

$$I = 12.98 \text{ (\%)}$$

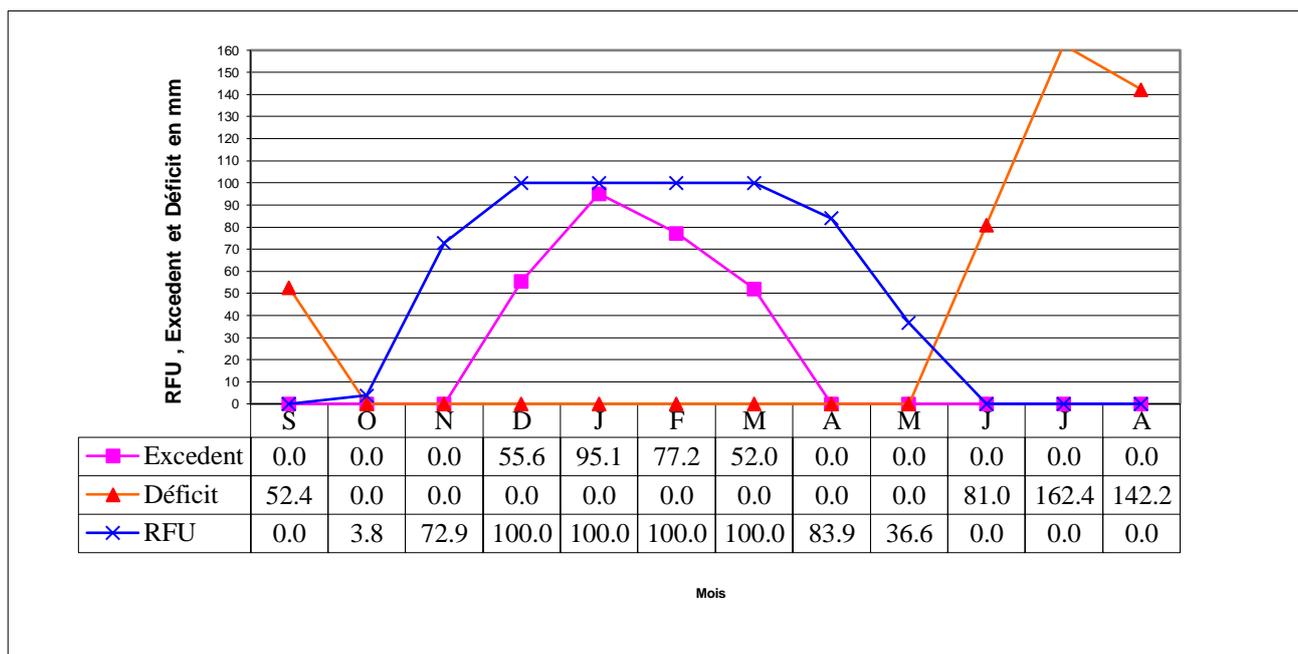
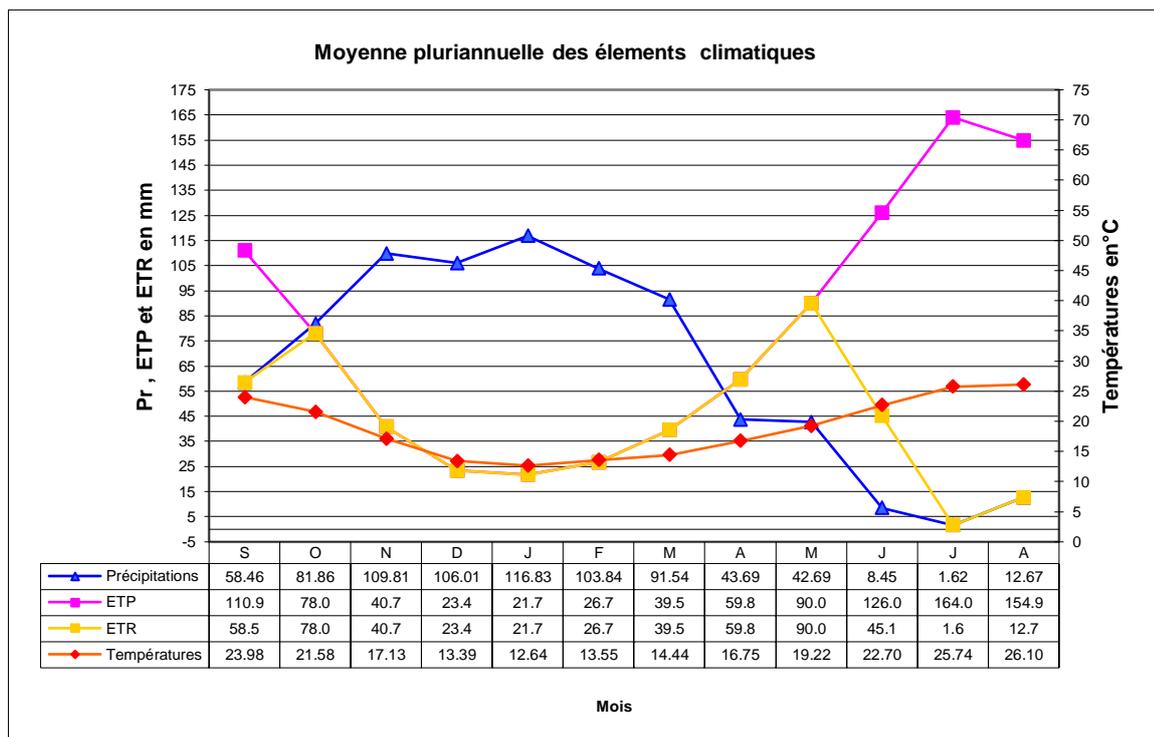
### III.3.5 Analyses du bilan hydrique:

- **T** : température mensuelle en C°.
- **i** : indice thermique
- **k** : coefficient de latitude

- **ETP** : évapotranspiration potentielle en (mm)
- **BH** : Bilan Hydrique
- **Pr** : précipitation mensuelle en (mm)
- **RFU** : réserve facilement utilisable en (mm)
- **ETR** : évapotranspiration réelle en (mm)
- **Def** : déficit agricole en (mm)
- **EXC** : excédent en (mm)

**Tableau 16 : Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017)**

	<b>T</b>	<b>I</b>	<b>K</b>	<b>ETPC</b>	<b>Pr</b>	<b>BH</b>	<b>RFU</b>	<b>ETR</b>	<b>Def</b>	<b>Exc</b>
<b>S</b>	<b>23.98</b>	10.7	1.05	110.9	<b>58.46</b>	-52.4	0.0	58.5	52.4	0.0
<b>O</b>	<b>21.58</b>	9.2	0.91	78.0	<b>81.86</b>	3.8	3.8	78.0	0.0	0.0
<b>N</b>	<b>17.13</b>	6.5	0.75	40.7	<b>109.81</b>	69.1	72.9	40.7	0.0	0.0
<b>D</b>	<b>13.39</b>	4.4	0.70	23.4	<b>106.01</b>	82.6	100.0	23.4	0.0	55.6
<b>J</b>	<b>12.64</b>	4.1	0.73	21.7	<b>116.83</b>	95.1	100.0	21.7	0.0	95.1
<b>F</b>	<b>13.55</b>	4.5	0.78	26.7	<b>103.84</b>	77.2	100.0	26.7	0.0	77.2
<b>M</b>	<b>14.44</b>	5.0	1.02	39.5	<b>91.54</b>	52.0	100.0	39.5	0.0	52.0
<b>A</b>	<b>16.75</b>	6.2	1.15	59.8	<b>43.69</b>	-16.1	83.9	59.8	0.0	0.0
<b>M</b>	<b>19.22</b>	7.7	1.32	90.0	<b>42.69</b>	-47.3	36.6	90.0	0.0	0.0
<b>J</b>	<b>22.70</b>	9.9	1.33	126.0	<b>8.45</b>	-117.6	0.0	45.1	81.0	0.0
<b>J</b>	<b>25.74</b>	12.0	1.35	164.0	<b>1.62</b>	-162.4	0.0	1.6	162.4	0.0
<b>A</b>	<b>26.10</b>	12.2	1.24	154.9	<b>12.67</b>	-142.2	0.0	12.7	142.2	0.0
<b>Annuel</b>	<b>18.9</b>	<b>92.3</b>		<b>935.6</b>	<b>777.5</b>	<b>-158.2</b>		<b>497.6</b>	<b>438.0</b>	<b>279.8</b>



**fig.18 : Représentation graphique du bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (2007/2008-2016/2017).**

Les résultats obtenus à partir du bilan hydrologique de la station de Skikda et présentés respectivement dans le tableau et les graphiques ci-dessus, permettent de tirer les observations suivantes :

- La région du bassin versant du Saf-saf reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 777.5 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18.9 C°.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) total est de l'ordre de 935.6 mm, où L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (164 mm) et son minimum au mois de Janvier (21.7 mm). Quant à l'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de 497.6 mm.
- La reconstitution de la RFU atteint son maximum (saturation : 100 mm) au mois de Décembre et reste ainsi jusqu'au mois de Mars puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de Juin.
- Le déficit agricole est égal à 438 mm.
- L'écoulement (excédent) commence au mois de Décembre et se termine en mois de Mars avec un maximum au mois de janvier et un minimum vers la fin de la période d'écoulement (L'excédent annuel est égal à 279.8 mm)

### **Conclusion :**

Le climat de la région d'étude est du type méditerranéen tempéré caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations et des températures (deux saisons distinctes l'une froide et humide et l'autre chaude et sèche).

La précipitation moyenne est de 777.5 mm, et la température moyenne annuelle modérée dans le bassin est de l'ordre de 18.9°C.

Le ruissellement moyen est de 178.89mm, et une infiltration de 100.92mm.

**Chapitre 03 :**  
**Caractéristiques**  
**hydrogéologiques**  
**du bassin Saf-Saf**



## Introduction

L'étude hydrogéologique permet l'identification du système aquifère, sa géométrie, ses conditions aux limites, son alimentation et leur nature lithologique ainsi que la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

L'étude de la piézométrie de la région nous permet de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (la transmissivité, perméabilité, coefficient d'emmagasinement, gradient hydraulique...), définir les zones d'alimentation des aquifère et le sens d'écoulement.

### I. Horizons aquifères de la plaine de Saf-Saf :

Le dépouillement des logs de forage à notre disposition, nous a permis l'établissement de deux Coupes de corrélation lithologique d'orientation différentes, dans le but d'identifier les aquifères, de connaître leur géométrie et leur extension spatiale (latérale et verticale) la figure 19a d'orientation SE-NW passant par les forages Skikda f5 et Ben rais et la figure 19b orienté du NW - SE passant par les forages KOUD.R , R/DJAMEL2 et KHOUANES L'interprétation de ces coupes nous montre l'existence de :

**I.1 Un aquifère superficiel libre**, constituée principalement d'une couche de sable, d'une épaisseur qui varie de 4 à 12 m qui surmonte une autre couche de graviers, d'une épaisseur qui varie de 20 à 28 m figure 19a

**I.2 Un aquifère confiné**, le même horizon de graviers qui fait partie de l'aquifère libre devient confiné par endroit comme le montre la coupe hydrogéologique 19b (forages KOUD.R et KHOUANES). Le toit et le substratum de cet aquifère sont constitués d'argiles d'une épaisseur variable.

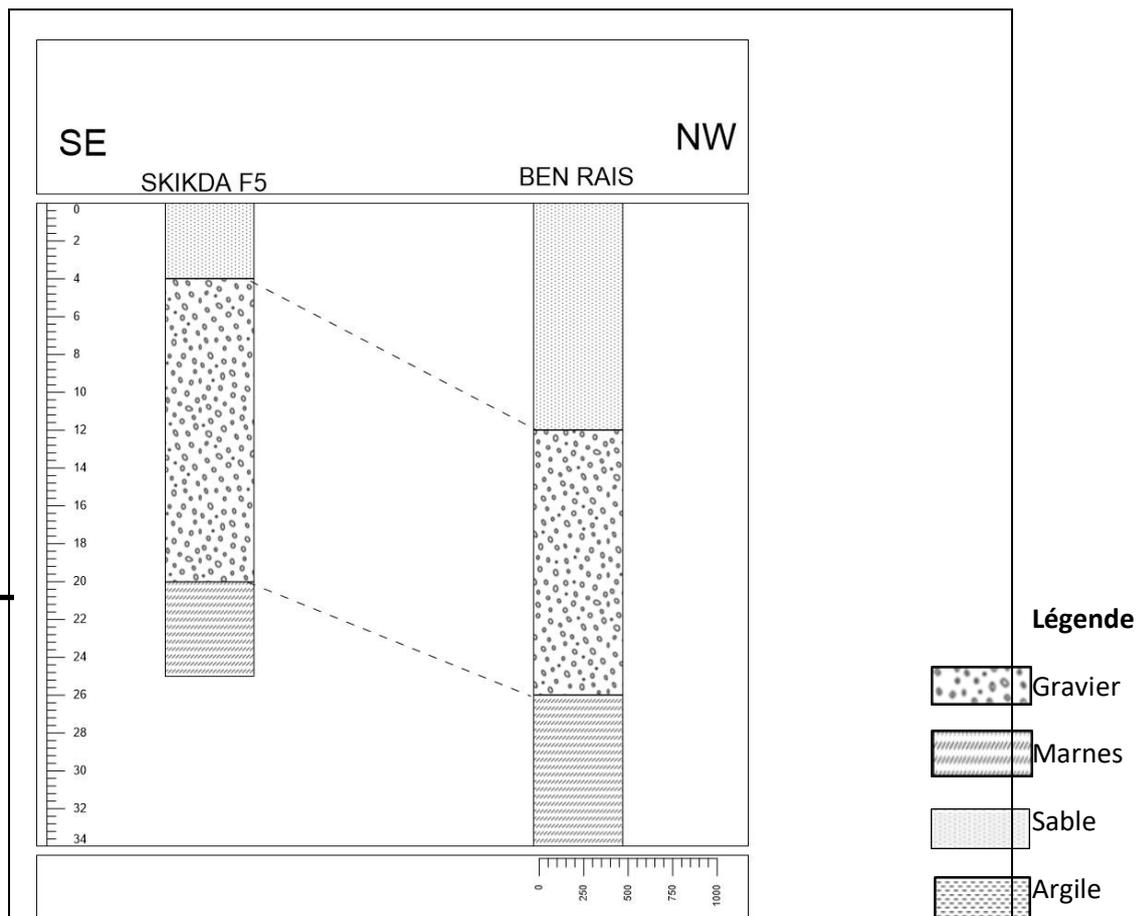


fig.19.a : Coupe de corrélation lithologique. Skikda f5-Ben rais

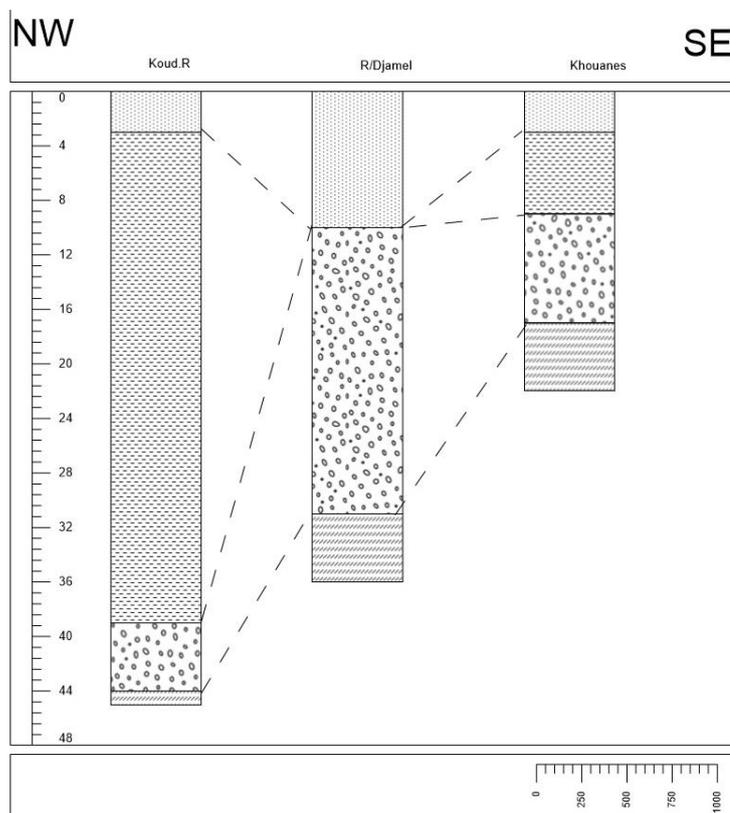


Fig19.b : Coupe de corrélation lithologique:Koud.r, R/Djamel2 et Khouanes :

## II. Inventaire des points d'eau :

Les points d'eaux recensés dans la plaine de Saf-Saf sont regroupés dans le tableau suivant tableau 17 :

**Tableau 17 : inventaire des points d'eau (puits et forages)**

FORAGE et PUIITS	X	Y	Z(m)	N S (m)	N P (m)
PS1 H/KROUMA	879,6	399,2	20	5,8	14,2
ALI ABDENNOUR BENI BECHIR	888,05	398,35	18	2,65	15,35
BEN RAIS R/DJAMEL	874,95	391	42	9,17	32,83
RAMADANE DJAMEL 2	875,125	391,55	43	10,9	32,1
7 KHOUANES R/DJAMEL	877,425	395,75	30	10,47	19,53
MARCHE DE GROS SAHKI MOHAMED S/BOUCHOUAR	879,013	388,936	50	3	47
VSA OUED KSOB	872,5	387,6	58	7	51
SKIKDA F5 S/ BOUCHAOUR	872,45	387,25	60	6,25	53,75
KOUDIET RMEL S/BOUCHAOUR	873,25	388,75	62	4,3	57,7
Puit 1	873,35	391,77	30	8,25	21,75
Puit 2	875,01	392,75	30	11,5	18,5
Puit 3	874,82	393,87	25	4,3	20,7
Puit 4	875,12	394,4	25	6,5	18,5
Puit 5	874,55	393	45	1,2	43,8
Puit 6	876,92	397,47	20	8,2	11,8

A partir des données recueillies de la DRH de Skikda et l'ANRH de Constantine, nous avons matérialisé l'ensemble des points d'eau (puits et forages) sur la carte d'inventaire

La carte est réalisée à l'aide de logiciel ArcGIS selon les étapes suivantes :

1. Préparation de fichier Excel : contient les coordonnées X, Y
2. Insertion de Shapefile contenant la limite de bassin
3. L'ajoute de fichier Excel : (**ADD DATA**) = choix du fichier – (**ADD**)
4. Dans le tableau de contenus (**TABLE OF CONTENTS**) : clic droite sur le fichier Excel insérer : (**DISPLAY X Y DATA ...**) –

**x Field: X**

**Y Field: Y**

**COORDINATE SYSTEM OF IMPUT CORDINATES / EDIT /**

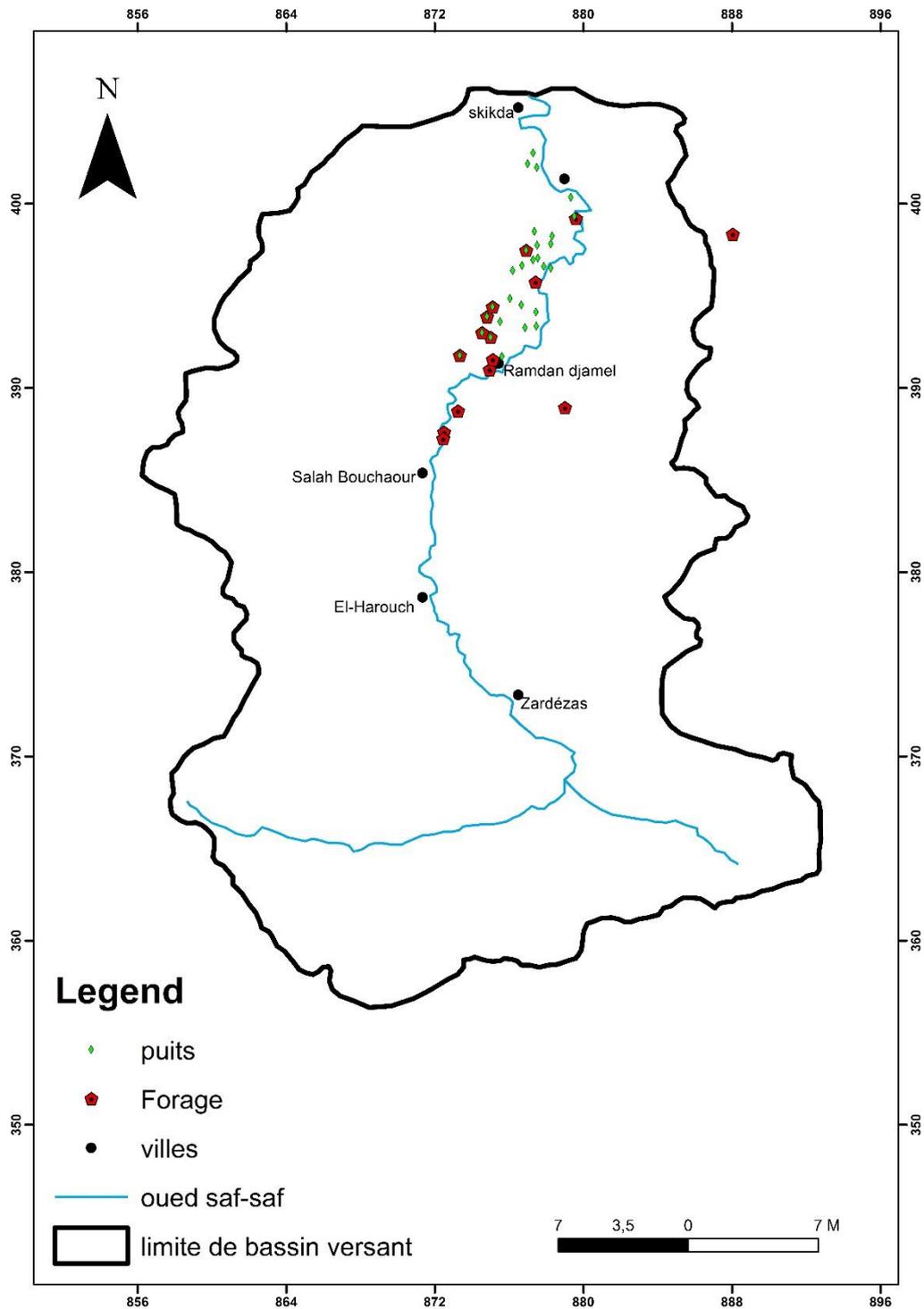
choix de système de projection - **OK**

5. **(TABLE OF CONTENTS)** – on clique droite sur le nouvelle data :

**(DATA)-(EXPORT DATA)** - choix de l'emplacement **(SAVE)** – **(OK)**

6. La mise en page

Le résultat final est présenté par la figure 20



**Fig. 20 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine alluviale du Saf-Saf et localisation des deux coupes hydrogéologiques**

### III. La carte piézométrique de la plaine d'oued Saf-Saf :

A l'aide des données (fiche technique des forages de Skikda) recueillies de DRH de Skikda, on a calculé le niveau piézométrique et dressé la carte piézométrique pour bien discerner l'écoulement des eaux souterraines de l'aval du bassin

La carte est réalisée à l'aide de logiciel ArcGIS selon les étapes suivantes :

1. Préparation de fichier Excel : contient les coordonnées X, Y et le niveau piézométrique
2. Insertion de shapfile contenant la limite de bassin
3. L'ajoute de fichier Excel : (**ADD DATA**) = choix du fichier – (**ADD**)
4. Dans le tableau de contenus (**TABLE OF CONTENTS**) : clic droite sur le fichier Excel insérer : (**DISPLAY X Y DATA ...**) –

**X Field:** X

**Y Field:** Y

**Z Field :** N P

**COORDINATE SYSTEM OF INPUT CORDINATES** / **EDIT** /

choix de système de projection - **OK**

5. (**TABLE OF CONTENTS**) – on clique droite sur le nouvelle data :  
(**DATA**)-(EXPORT DATA) - choix de l'emplacement (**SAVE**) – (**OK**)
6. (**ARC TOOL BOX**) - (**SPATIAL ANALYST TOOLS**) – (**INTERPOLATION**) – (**KRIGING**).

**Input point features:** point d'eau data

**Z value Field:** N-P

**ENVIRONEMENTS :**

**Processing extent :** *same as layer limite de la nappe*

**Raster analysis / mask :** choix de la limite de bassin

(**OK**) - (**OK**).

7. On modifiant les classe de nouveaux couche apparaitre dans la table of contents :  
**Propreties** –  **symbology** –  **classify** –  **method : défined interval** -  **classes ; 5** -  **ok** - **appliquer.**
8. (**SEARCH**) – « CONTOUR » = (**CONTOUR (SPATIAL ANALYST TOOLS)**)  
**Input raster :** point d'eau data  
**Contour interval :** nombre de classe choisi dans la partie classify - **ok**
9. Le sens d'écoulement : Création d'un nouvelle shapfile « polylinge » nommée sens découlement

(EDITOR)- (STAR EDDITING)

10. Faire le sens découlement

11. La mise en page

Le résultat final est présenté par la figure 21

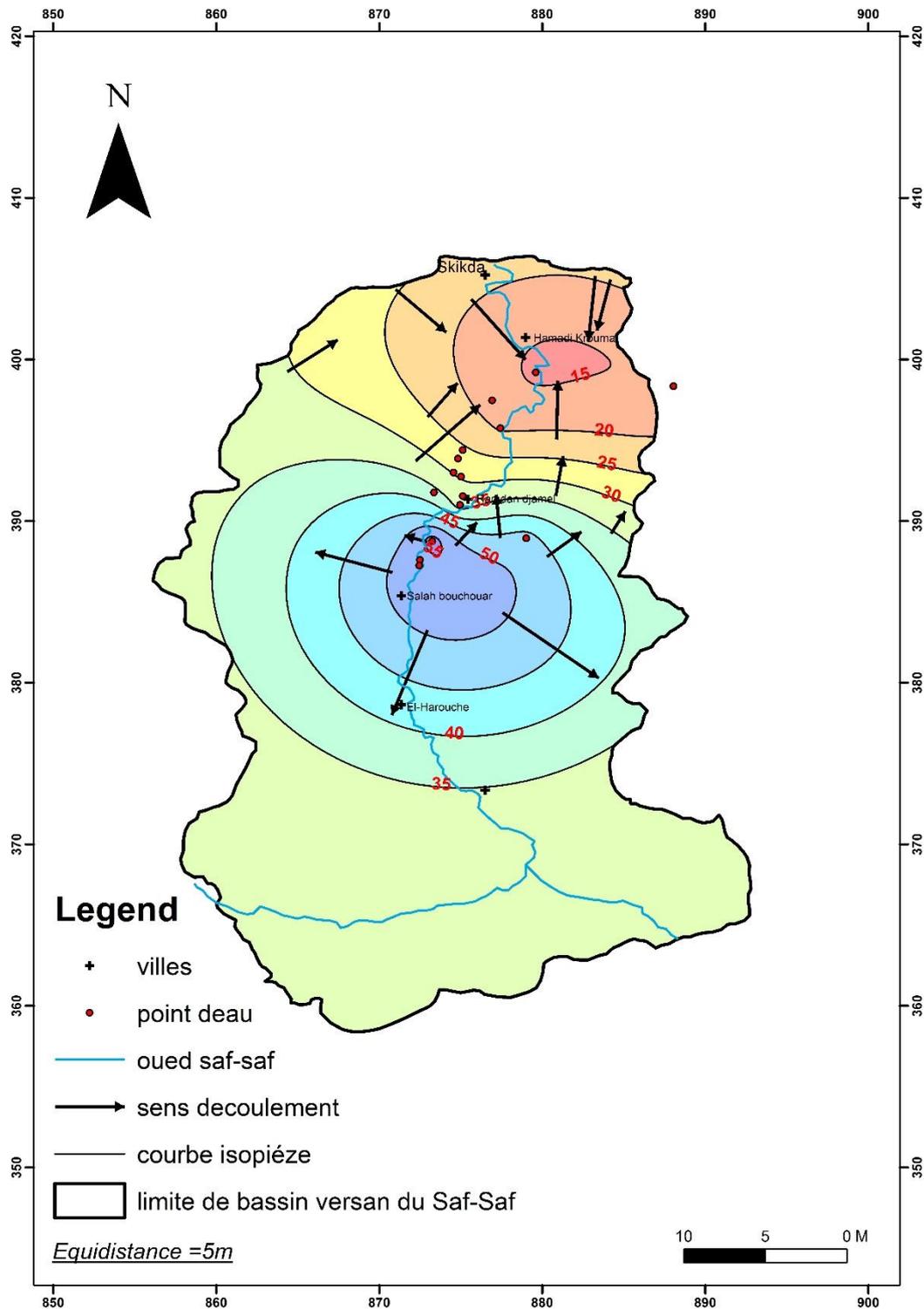


Fig. 21 : Carte piézométrique de la nappe Saf-Saf Septembre 2000 (Période basses eaux)

### III. Interprétation de la carte piézométrique :

Cette carte nous montre trois zones hydrogéologiques bien distinctes du Nord au Sud :

- La zone Nord de la plaine, les courbes isopièzes sont espacées à moyennement espacées, cela signifie que le gradient hydraulique est moyen (0.8% ) avec une perméabilité élevée. L'écoulement des eaux souterraines est radial convergent vers Hamadi Krouma
- La zone centrale de la plaine fait ressortir des courbes isopièzes serrées ce qui signifie que le gradient hydraulique est fort ( 1%) avec une perméabilité faible, l'écoulement de cette zone fait partie de la zone précédente.
- La zone Sud, l'écoulement est radial, à partir d'un dôme piézométrique avec des courbes isopièzes espacées, ce qui indique un gradient hydraulique faible ( 0.5%), et une perméabilité élevée.

Nous avons calculé le gradient hydraulique sur notre carte piézométrique :

C'est le rapport entre la différence de charge entre deux courbes piézométrique séparées d'une distance L.

$$I = \frac{\Delta h}{L}$$

I : gradient hydraulique

$\Delta h$  : La différence de charge (m)

L : distance entre deux courbes (m)

Ex : 1) Le gradient hydraulique entre les points A et B au Nord

$$I = \frac{15m}{1800m} = 0.8 \times 10^{-2} = 0.8\%$$

#### Conclusion :

L'étude hydrogéologique révèle l'existence de deux aquifères le premier superficiel (Nappe libre), formé principalement d'une couche de sable, d'une épaisseur qui varie de 4 à 12 m qui surmonte une autre couche de graviers, d'une épaisseur qui varie de 20 à 28 m.

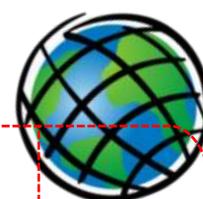
Le deuxième aquifère constitué d'une couche de graviers confiné par endroits, d'une épaisseur 17 à 44 m.

La plaine de bassin montre un écoulement des eaux souterraines radial convergent au Nord et radial divergent au Sud (dôme piézométrique).

Les courbes isopièzes sont espacées au Nord et au Sud ce qui peut être interprété par des zones de bonne perméabilité, par contre au centre de la plaine sont serrées, nous pouvons conclure que la perméabilité est faible.

# Chapitre 04 :

# Hydrochimie



## Introduction :

L'analyse hydrochimique est indispensable pour compléter toute étude hydrogéologique. Elle a pour but principal, la reconnaissance des faciès chimiques, des origines, de la potabilité, du degré de pollution et de l'utilisation des eaux.

Dans le bassin du Saf-Saf, les eaux souterraines ont une composition chimique étroitement liée aux terrains qui les contiennent (variation spatiale entre amont et aval) et les facteurs anthropiques.

Afin de déterminer les caractéristiques chimiques des eaux dans notre région, par manque de moyens et de temps pour couvrir toute la plaine en amont et aval nous sommes contents de l'interprétation des données des analyses chimiques effectuées dans la zone industrielle de w. Skikda du mois de juillet 2005 par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) de Constantine.

## I. Chimie des Points d'eau de la zone industrielle de la wilaya de Skikda :

### I.1 Paramètres analysés :

#### I.1.1. Les paramètres chimiques :

Cette analyse concerne les éléments chimiques majeurs :

Les Cations :  $\text{Ca}^{2+}$  ;  $\text{Mg}^{2+}$  ;  $\text{Na}^+$  ;  $\text{K}^+$  et Les Anions  $\text{HCO}_3^-$  ;  $\text{Cl}^-$  ;  $\text{SO}_4^{2-}$  ;  $\text{NO}_3^-$

### I.3 La balance ionique :

Elle permet d'accepter ou de rejeter un ou plusieurs analyses elle est exprimée par la formule de G. CASTANY :

$$BI\% = \frac{|\sum r^- - \sum r^+|}{\sum r^- + \sum r^+} \times 100$$

- Excellente lorsque ;  $BI < 5\%$
- Acceptable lorsque :  $5\% > BI < 10\%$
- Douteuse lorsque :  $BI > 10\%$

### I.4 Transformation du mg/l en meq/l :

$$\left[ \text{Echantillon en } \frac{\text{meq}}{\text{l}} \right] = \frac{\left[ \text{Echantillon en } \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]}{\text{equivalent en g}}$$

L'Équivalent en g de chaque élément est exprimé dans le tableau 17

Exemple : forage ; RN 44 :

$$[Ca^{2+}] = \frac{176}{20} = 8.8 \text{ (Meq/l)}$$

Les résultats de calculs sont regroupés dans le tableau suivant :

L'élément	Les Cations			Les Anions			T	PH
	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
La valence	1	2	2	1	1	2	/	/
Equivalent g	23	20	12	61	35.5	48	/	/
RN 44(meq/l)	15.82	8.8	2.41	7.90	18.87	0.37	22	7.83
DEV 4.1 (meq/l)	19.26	7.1	5.33	5.90	22.53	3.29	22	7.69
GNL 2 BIS (meq/l)	38.65	5.4	3.41	6.70	36.90	3.5	26	7.5
RAF3BIS (meq/l)	3.34	4.3	2.91	3.80	5.21	0.95	23	7.34
FP1 (meq/l)	5.04	3.5	2.5	2.39	6.33	2.62	27	7.24
FP2 (meq/l)	40.86	9.9	1.33	7.09	43.38	0.87	25	7.43
FP4 (meq/l)	10.04	7.7	4.66	5.80	10.56	5.62	24	7.47

**Tableau 18 : les concentrations des éléments chimique en meq/l**

**I.5 Calcul de la balance ionique :**

Les valeurs de la balance ionique des différentes analyses sont regroupées dans le Tableau

19

**Tableau 19. : Les valeurs de la balance ionique des différentes analyses**

Point d'eau	$\sum r^+$	$\sum r^-$	Balance ionique %
RN 44(meq/l)	27.03	27.14	0.20%
DEV 4.1 (meq/l)	31.69	31.72	0.04%
GNL 2 BIS (meq/l)	47.46	47.1	0.38%
RAF3BIS (meq/l)	10.55	9.96	2.87%
FP1 (meq/l)	11.04	11.34	1.34%
FP2 (meq/l)	52.09	51.34	0.72%
FP4 (meq/l)	22.4	21.98	0.94%

**I.6 Formule ionique et faciès chimique :**

Afin de connaître les faciès chimiques, nous avons établi la formule ionique et cela en classant par ordre décroissant de gauche à droite les anions puis les cations.

A partir de ces formules ioniques, découle le faciès chimique spécifique pour chaque point d'eau.

La formule ionique : le forage RN 44 comme exemple :

Les Anions :

Les Cations :

$$[HCO_3^-] = \frac{482}{61} = 7.90 \text{ (meq/l)}$$

$$[Ca^{2+}] = \frac{176}{20} = 8.8 \text{ (meq/l)}$$

$$[Cl^-] = \frac{670}{35.5} = 18.87 \text{ (meq/l)}$$

$$[Mg^{2+}] = \frac{29}{12} = 2.41 \text{ (meq/l)}$$

$$[SO_4^{2-}] = \frac{18}{48} = 0.37 \text{ (meq/l)}$$

$$[Na^+ + K^+] = \frac{360+4}{23} = 15.82 \text{ (meq/l)}$$

Le classement des éléments est comme suit :

Les Anions : r (Cl<sup>-</sup>), r (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), r (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

Les Cations : r (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>), r (Ca<sup>2+</sup>), r (Mg<sup>2+</sup>).

**Tableau.20 : Les faciès chimique des eaux du forage de la zone industrielle de w. Skikda**

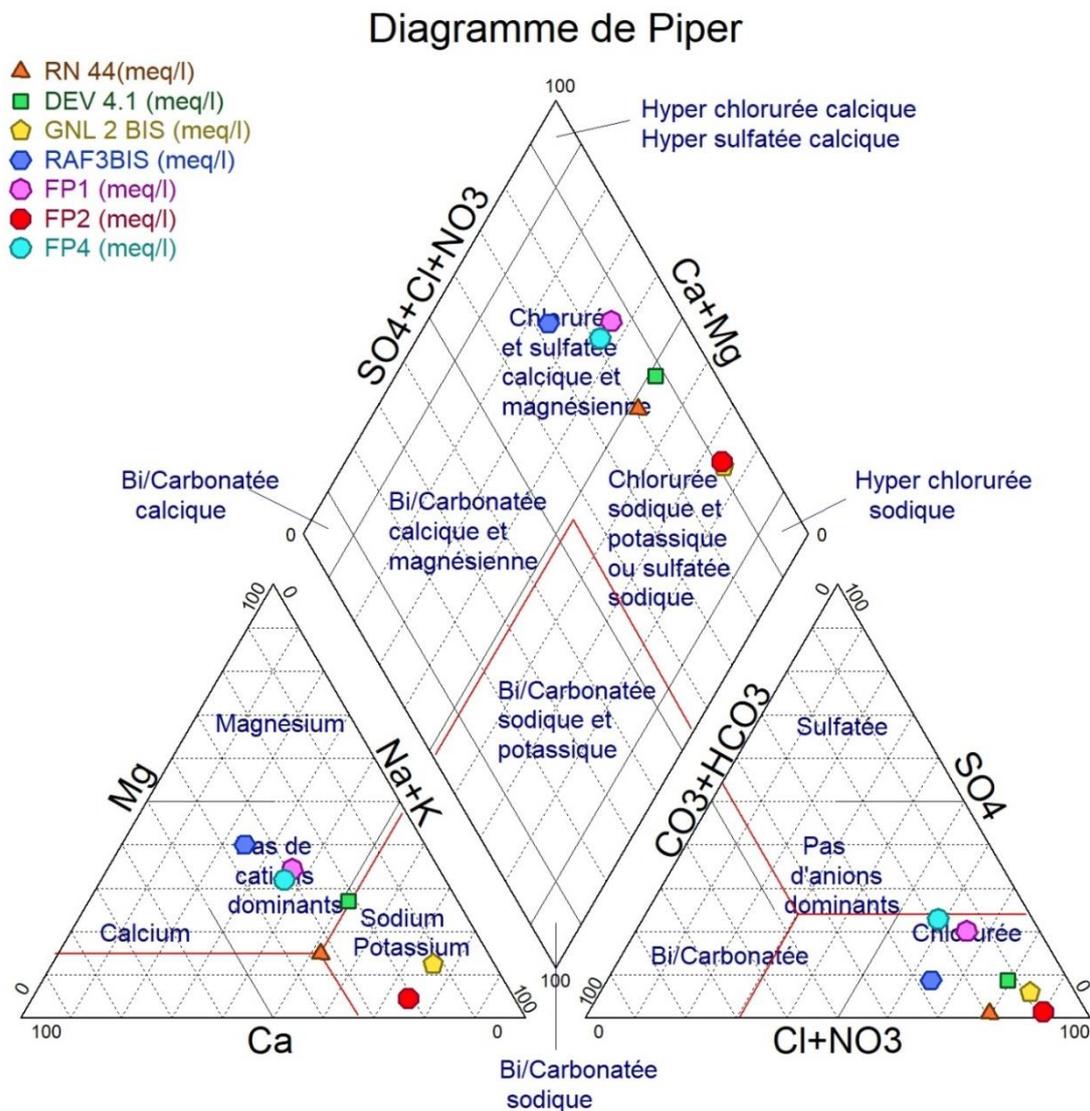
Point d'eau	Balance ionique %	Formule ionique	Faciès chimique
RN 44(meq/l)	0.20%	r (Cl <sup>-</sup> ), r (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), r (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ). r (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), r (Ca <sup>2+</sup> ), r (Mg <sup>2+</sup> ).	Chloruré-Sodique
DEV 4.1 (meq/l)	0.04%	r (Cl <sup>-</sup> ), r (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), r (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), r (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), r (Ca <sup>2+</sup> ), r (Mg <sup>2+</sup> ).	Chloruré-Sodique
GNL 2 BIS (meq/l)	0.38%	r (Cl <sup>-</sup> ), r (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), r (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), r (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), r (Ca <sup>2+</sup> ), r (Mg <sup>2+</sup> ).	Chloruré-Sodique
RAF3BIS (meq/l)	2.87%	r (Cl <sup>-</sup> ), r (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), r (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), r (Ca <sup>2+</sup> ), r (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), r (Mg <sup>2+</sup> ).	Chloruré-Calcique
FP1 (meq/l)	1.34%	r (Cl <sup>-</sup> ), r (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), r (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), r (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), r (Ca <sup>2+</sup> ), r (Mg <sup>2+</sup> ).	Chloruré-Sodique
FP2 (meq/l)	0.72%	r (Cl <sup>-</sup> ), r (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), r (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), r (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), r (Ca <sup>2+</sup> ), r (Mg <sup>2+</sup> ).	Chloruré-Sodique
FP4 (meq/l)	0.94%	r (Cl <sup>-</sup> ), r (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), r (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), r (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> ), r (Ca <sup>2+</sup> ), r (Mg <sup>2+</sup> ).	Chloruré-Sodique

Cette classement nous permettant de constater que le faciès chimique est **Chloruré-Sodique**

**I.7 Représentation graphique des résultats :**

En introduisant les données des faciès chimique dans un logicielle de représentation graphique triangulaire « diagramme de piper »

Le diagramme de Piper permet de constater que les eaux analysées sont globalement **Chloruré-Sodique**

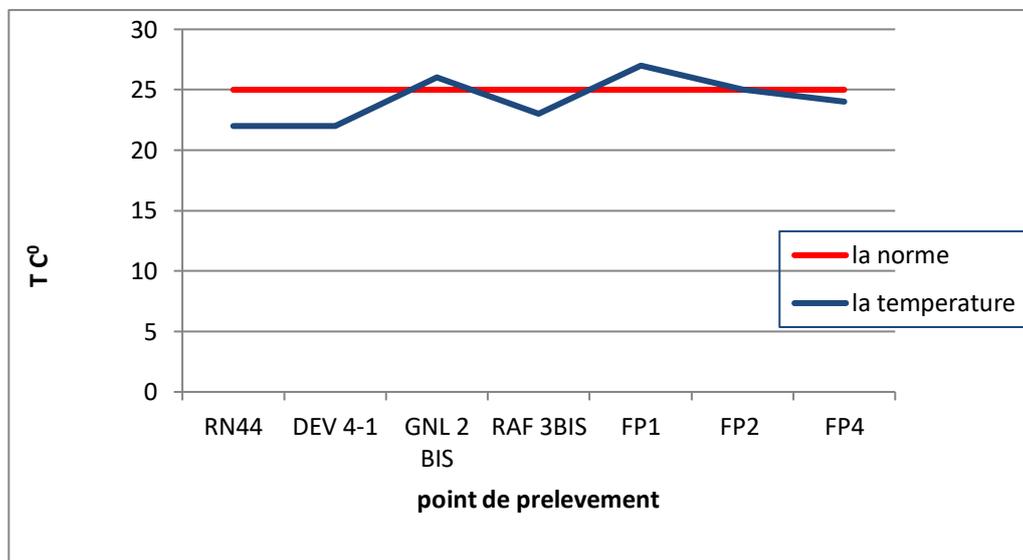


**Fig 22 : Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper des eaux souterraines dans la zone industrielle.**

### III. Les paramètres physico-chimiques :

#### III.1 Température :

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique (Philippo et al, 1981). La température est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques ; une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs (Beaudry et Henry, 1984). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît.

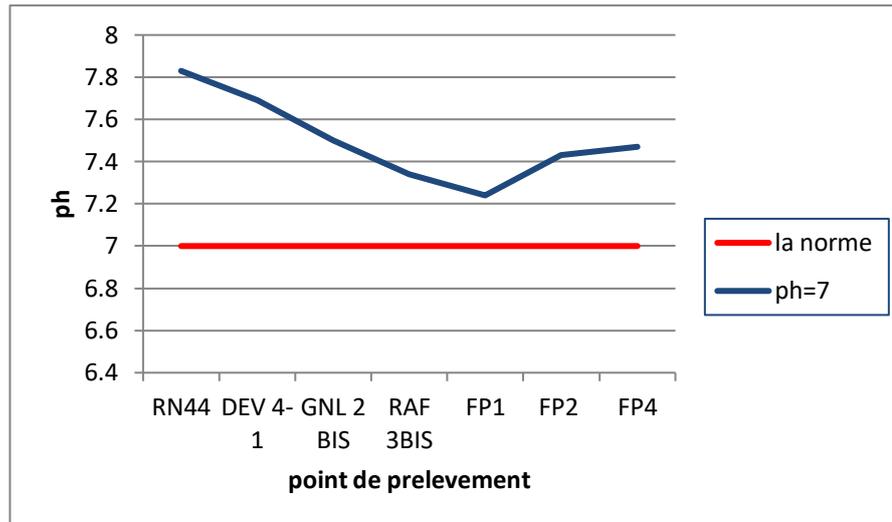


**Fig 26 : Variation de la température des eaux souterraines du bassin de l'Oued Saf-Saf (zone industrielle w.skikda) ( juillet 2005)**

La température est très élevée et dépasse les normes de potabilité dans certains points (FP1, GNL). Ces variations changent en fonction, des saisons, de la température de l'air, de la profondeur de ces eaux (profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol), et de la nature des terrains géologiques.

#### III.2 Potentiel d'hydrogène (pH):

Le pH des eaux naturelles, est compris entre pH 6.5 et pH 8.5 (Sigg et al, 2006). Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (IBGE, 2005).



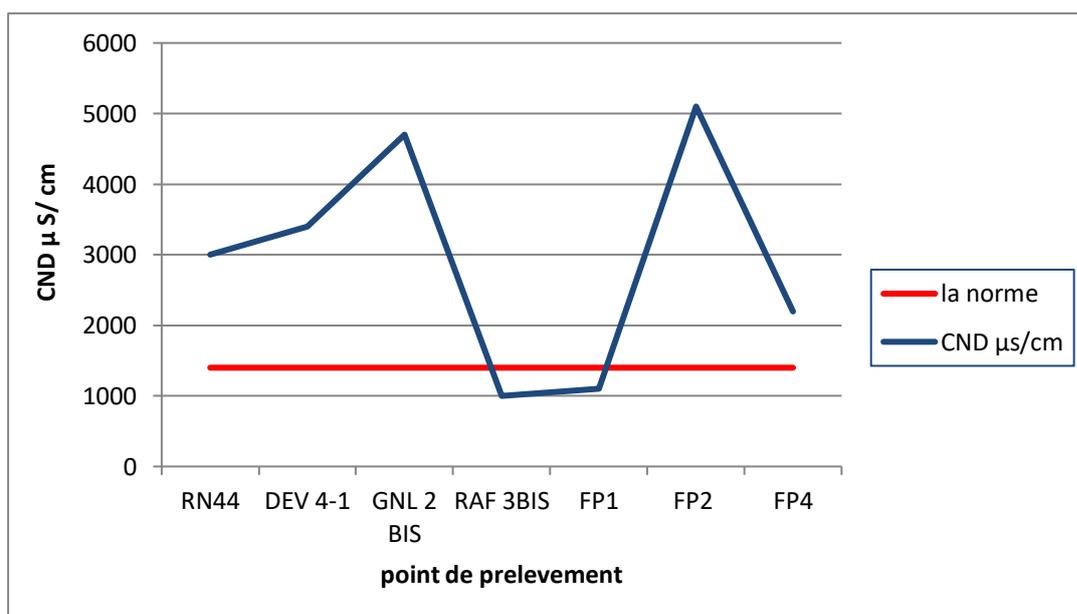
**Fig 27 : Variation du pH des eaux souterraines du Bassin de l’Oued Saf-Saf(zone industrielle w.skikda )( juillet 2005)**

Les valeurs du pH mesurées des eaux souterraines du bassin versant d’oued Saf-Saf varient entre (7.83 et 7.24). Une solution nettement basique est observée pour l’ensemble des eaux des forages de la zone industrielle w.Skikda de l’année 2005.

### III.3 La conductivité :

La conductivité électrique est la capacité d’une solution à conduire le courant électrique. Elle est comprise entre 10 et 1000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  pour la plupart des eaux naturelles (Chapman, 1996).

Les eaux souterraines de de la zone industrielle w.Skikda de l’année 2005 montrent des conductivités élevées et qui dépassent les normes (1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

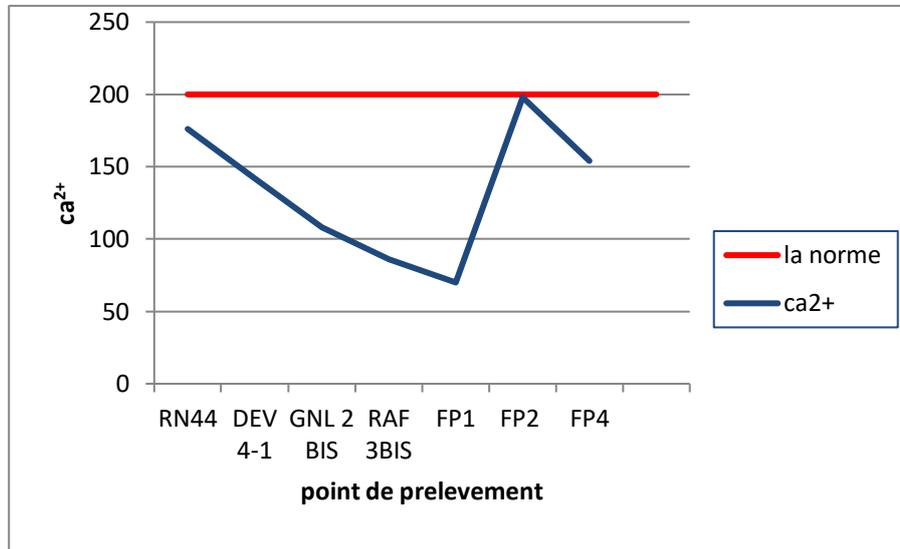


**Fig 28 : Variation de la CE des eaux souterraines du bassin de l’Oued Saf-Saf (zone industrielle Skikda) (juillet 2005)**

**III. Origine des éléments chimiques :**

**a. Calcium :**

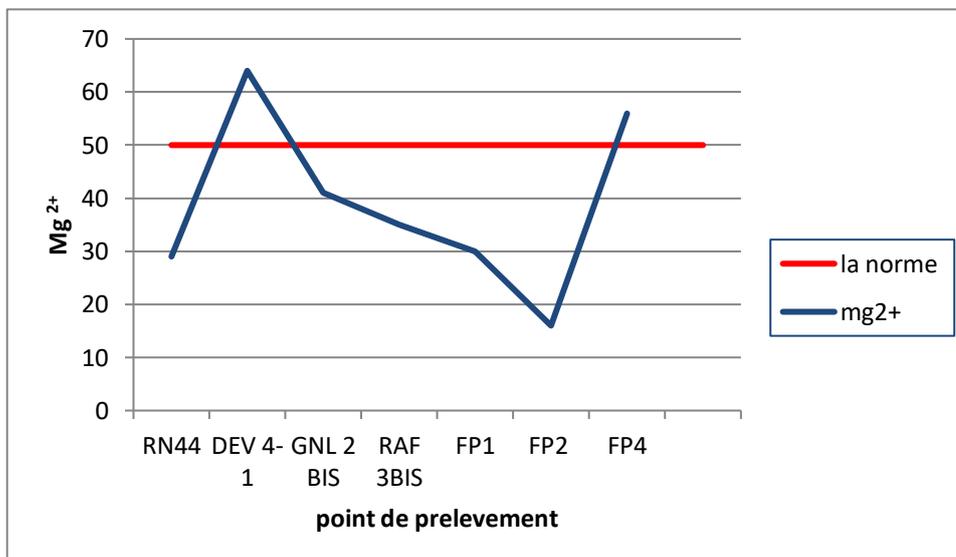
Les eaux souterraines analysées, montrent des concentrations en calcium variée entre 70 et 198 mg/l, et qui ne dépassent pas les normes admissibles. Cela aurait pour origine la dissolution des formations carbonatées (CaCO<sub>3</sub>) de la région d'étude.



**Fig 29 : Variation du Ca<sup>2+</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda )(juillet 2005)**

**b- Magnésium :**

Les eaux souterraines analysées, montrent des concentrations en calcium variée entre 16 et 64 mg/l Les eaux analysées sont presque toutes sous les normes, à l'exception du puits DEV 4-1 et FP4 .Cela aurait pour origine la dissolution des formations carbonatées la giobertite (magnésite), la dolomie, l'olivine, la serpentine, le talc et l'amiante.

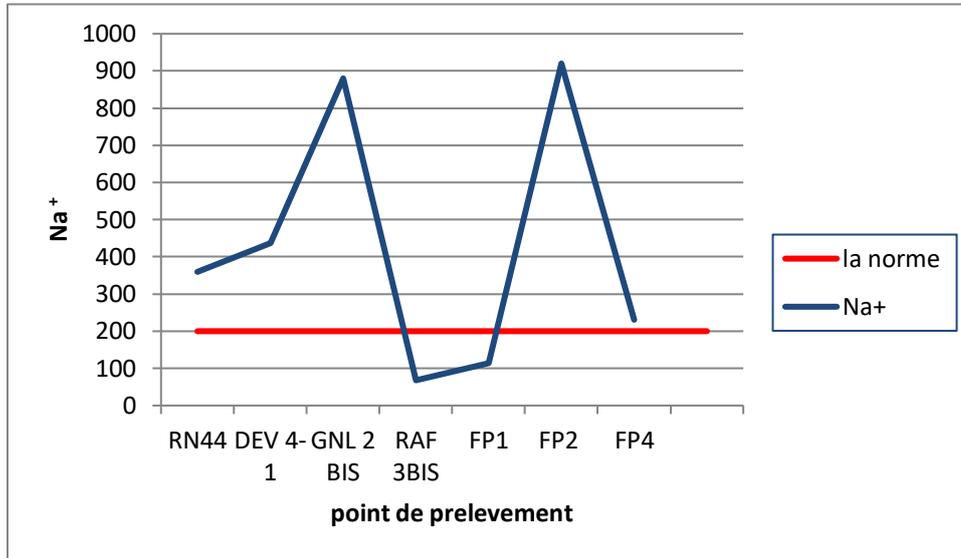


**Fig 30 :Variation du Mg<sup>2+</sup> des eaux souterraine (zone industrielle w.skikda )**

**c- Sodium (Na+):**

Le sodium provient du lessivage des formations riches en NaCl, des formations argileuses, argilo-marneuses et des rejets des eaux usées d'origine domestique (Beaudry et Henry, 1984).

Les eaux souterraines analysées, montrent des concentrations très élevées en sodium, et qui dépassent les normes admissibles dans la majorité des eaux analysées.

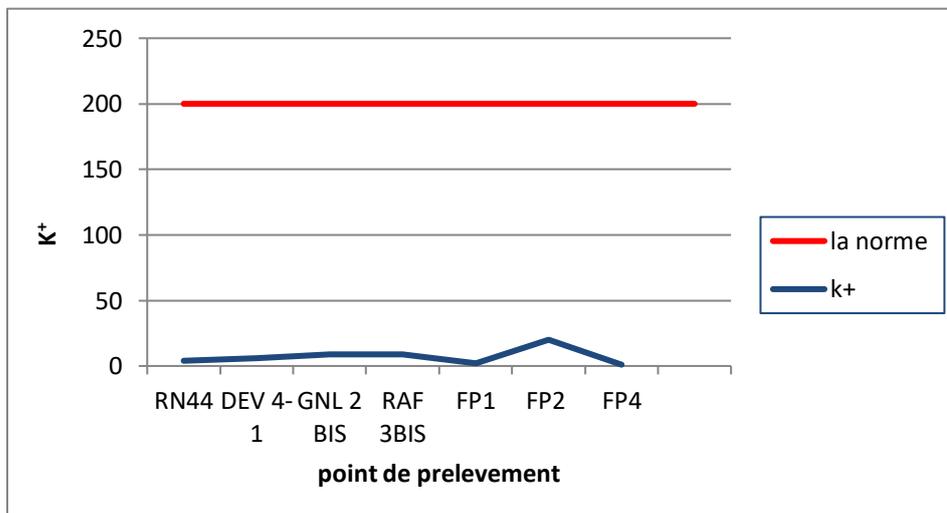


**Fig 31 : Variation du Na<sup>+</sup> des eaux souterraines(zone industrielle w.skikda )**

**d. Potassium (K+):**

Le potassium beaucoup moins abondant que le sodium et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. Il ne représente aucun inconvénient particulier bien que le K soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau.

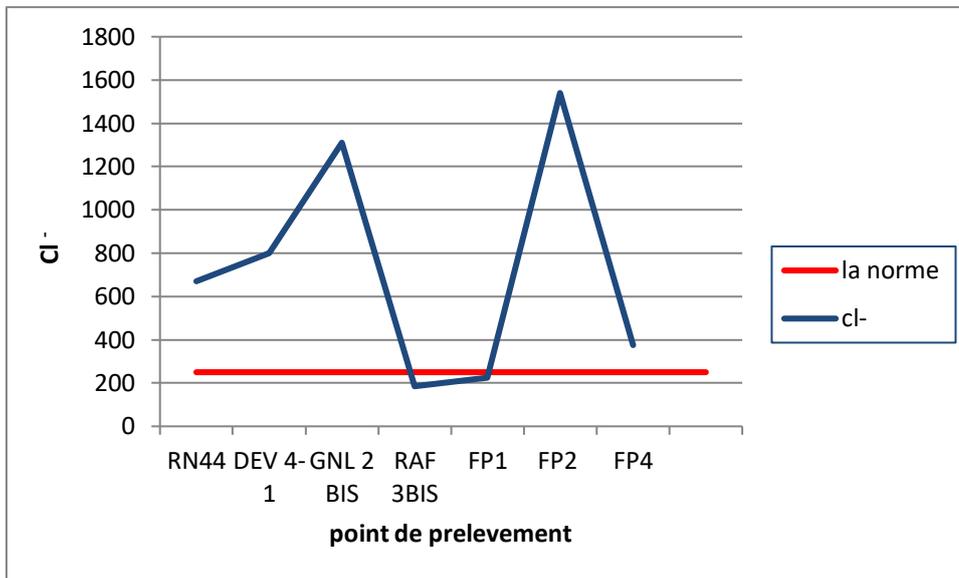
L'ensemble des échantillons montrent des concentrations acceptables en potassium, avec une concentration de 1 mg/l (PF4), qui est considérée comme la concentration la plus faibles, et 20 mg/l (FP2).



**Fig 32 : Variation du k<sup>+</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda )**

**e. Chlorure :**

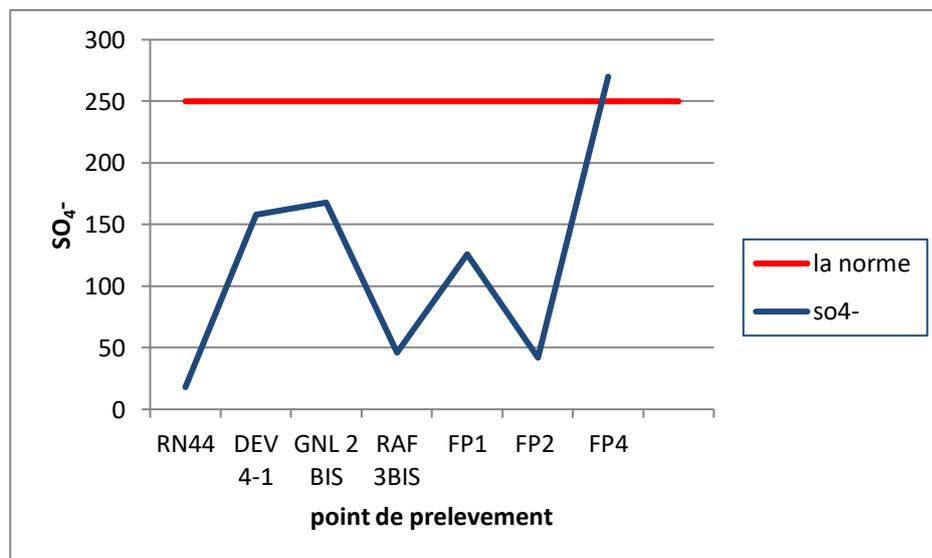
Les eaux analysées, montrent des concentrations très élevées au niveau de la plaine de Skikda [FP1, RAF, GNL, FP2, FP4, et DEV], qui dépassent les 1500 mg/l et qui peuvent être due à une contamination de la nappe par les effluents industriels.



**Fig 33 : Variation du Cl<sup>-</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda) (juillet 2005)**

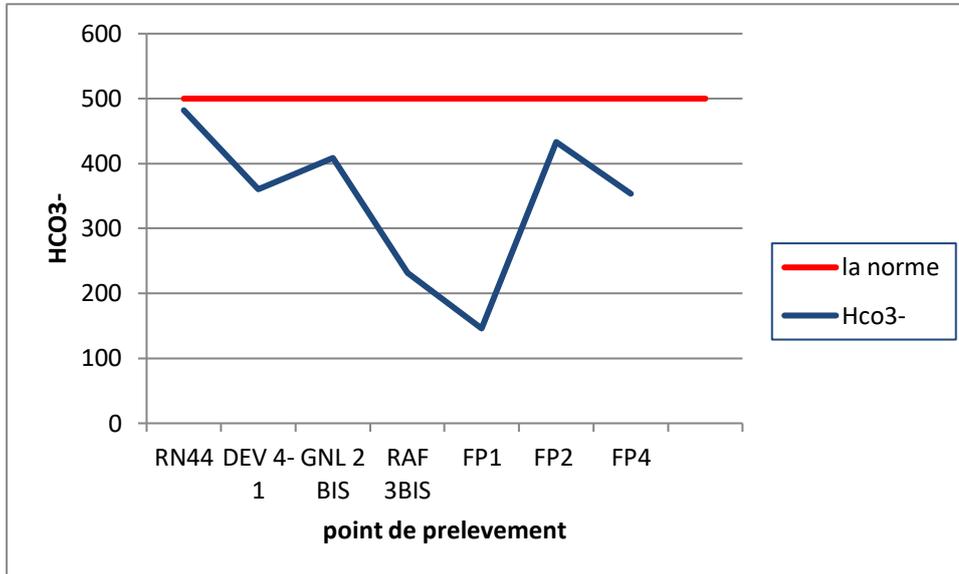
**f. Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>):**

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuse. Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution des gypses. D'une part, des pesticides provenant des eaux d'irrigation. Les eaux souterraines analysées, montrent des concentrations en Sulfates variée entre 18 et 270 mg/l, Les eaux analysées sont toutes sous les normes, à l'exception du puits FP4



**Fig 34 : Variation du SO<sub>4</sub><sup>-</sup> des eaux souterraines (zone industrielle w.skikda)**  
**g. Les Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie ...) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) , Les eaux souterraines analysées, montrent des concentrations en Bicarbonates variée entre 146 et 482mg/l, Les eaux analysées sont toutes sous les normes



**Fig 35 : Variation du SO<sub>4</sub><sup>-</sup> des eaux souterraines (Zone industrielle w. skikda) (juillet 2005)**

**Conclusion :**

L'interprétation des données des analyses chimiques effectuées dans la zone industrielle de w. Skikda la partie aval (plaine alluviale du Saf-Saf) montre que les eaux sont principalement chlorurées sodiques. Donc moyennement potables malgré les fortes concentrations en sulfates, en chlorures et en bicarbonates.

**Conclusion**

**générale**



### Conclusion générale :

L'utilisation d'un système d'information géographique nous a permis d'élaborer un support cartographique (carte des pentes, réseau hydrographique, piézométrique ...etc.) à partir du modèle numérique de terrain et la base de données collectées. Ce système nous a permis d'effectuer une caractérisation de la variation spatiale des potentialités de la nappe à partir d'un nombre important de données).

L'étude morphométrique met en évidence l'appartenance du bassin versant du Saf-Saf à un milieu de montagnes typiques du Tell Constantinois, Ce bassin est encadré donc par un relief accidenté d'une altitude considérable, avec un relief qualifié très fort, et de pentes importantes, et un chevelu hydrographique dense aboutissant à une rapide mobilisation des eaux de surface.

Du point de vue géologique Le bassin versant du Saf-Saf appartient au Tell oriental algérien qui n'est qu'une partie de l'atlas tellien.

La géologie de la région est très complexe. En effet, les études menées ont montré que le tell oriental algérien est constitué par un empilement de nappes ; on a du Nord vers le Sud : le socle Kabyle et la dorsale Kabyle, la série des flyschs (mauritanien, massylien, numidien et ultra tellien), la série des grès numidiens et la nappe néritique du constantinois.

Cette étude montre aussi que la dorsale kabyle se compose d'unités nettement différenciées par leurs séries stratigraphiques ; de même que l'âge du numidien est difficile à préciser.

Du point de vue climatique il s'agit d'une zone à climat de type méditerranéen tempéré caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations et des températures. La synthèse de données climatiques nous permet de distinguer que La précipitation moyenne est de 777.5 mm, la température moyenne annuelle modérée dans le bassin est de l'ordre de 18.9°C. Le ruissellement moyen est de 178.89 mm, enfin l'infiltration est de 100.92 mm.

L'identification des formations aquifères de la région est fondée sur les coupes hydrogéologiques utilisant les coupes de forages mécaniques creusés dans la région d'étude qui fait ressortir les différentes unités hydrogéologiques et leur potentiel hydrique, principal objectif de cette contribution

Cette diversité de formations géologiques révèle l'existence de deux aquifères le premier superficiel (Nappe libre), formé principalement d'une couche de sable, d'une épaisseur qui

varie de 4 à 12 m qui surmonte une autre couche de graviers, d'une épaisseur qui varie de 20 à 28 m.

L'analyse des courbes isopièzes montre un écoulement des eaux souterraines radial convergeant au Nord et radial divergeant au Sud (dôme piézométrique).

Les courbes isopièzes sont espacées au Nord et au Sud ce qui peut être interprété par des zones de bonne perméabilité, par contre au centre de la plaine sont serrées, nous pouvons conclure que la perméabilité est faible.

L'interprétation des données des analyses chimiques effectuées dans la zone industrielle de w. Skikda la partie aval (plaine alluviale du Saf-Saf) montre que les eaux sont principalement chlorurées sodiques.

### Références Bibliographiques :

1. **Abadlia z, Ghim N., (209)**. Influence de la lithologie sur la qualité des eaux souterraines dans la région M'Daourouch- Dréa, Wilaya de Souk-Ahra. Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master Université Guelma.
2. **ABH-CSM., (2000)**. Le bassin des côtières Constantinois Est, cahier de l'agence « Bassin des côtières constantinois » N°4, Septembre 2000, 55-75.
3. **Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière**, Rubrique Monographie Wilaya, Wilaya de SKIKDA, ANIREF 20/08/2011
4. **BEN RABAH S., (2006)** ETAT ACTUEL DES RESSOURCES EN EAU DANS LA WILAYA DE SKIKDA(ESSAI DE SYNTHESE)BILAN – GESTION – PERSPECTIVE. Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister Université d'Annaba
5. **Boubelli S., (2018)**. Impact des rejets urbains et domestiques sur la qualité des eaux de l'Oued Saf-Saf: Inventaire et mise en évidence d'une contamination par des polluants organiques et leurs conséquences sur l'environnement. Thèse de doctorat Université Annaba 216p.
6. **Khalfaoui. F (2014)** Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Saf-Saf (Nord- Est algérien) thèse de doctorat Université Annaba 299p.
7. **Mahamat SM, Sadick HA., (2016)**. Caractérisation hydrogéologique de la région M'Daourouch- Dréa, Wilaya de Souk-Ahra. Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master Université Guelma 73p.
8. **Raoult J.F. & Mouterde R., (1969)**. Nouvelles données sur les séries secondaires du Kef M'Souna et du Kef Sebargoud (Nord du Constantinois). Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, (Nlle série), No 39, 171-188.
9. **Raoult, J.F., (1974)** : Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du constantinois, (Algérie). Mém. Soc. géol. France.

10. **Saaddali R., (2007).** Détermination des paramètres hydrodispersifs de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf (W.Skikda). Thèse de doctorat Université Annaba 122p
11. **Sakaa B., (2013).** Développement durable, vers un modèle de GIRE dans le bassin versant de Saf-Saf. Thèse de doctorat en sciences. Thèse doctorat ; Université d'Annaba. 156p.
12. **Allouche M., (2015).** Le modèle DPSIR pour la gestion d'un périmètre irrigué dans le bassin du Saf-Saf Skikda (Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat Université Annaba

# Annexe



# ANNEXE

Commune	Nom des champs captant	Nom des forages dans le champ captant	Débit prélevé (l/s)	Date de mise en service	Gestionnaire	X(m)	Y(m)	Aquifère sollicité
REMDANE DJAMEL	OUED SAF-SAF	PUITS PRINCIPAL			ADE			Nappe alluvionnaire du SAF-SAF
		REMDANE DJAMEL F1	15	2002	APC	877,450	392,250	
		REMDANE DJAMEL F2	20	2002	ADE	877,450	392,550	
		REMDANE DJAMEL F3	07		ADE	873,900	390,950	
		PS 7	10	2001	ADE	877,800	391,400	
		PS 8	2		APC	875,500	391,700	
		SIX MECHTA	10	2003	APC	877,050	393,900	Nappe alluvionnaire du SAF-SAF
		SEBBA KHOUANES	08	2002	APC	877,425	395,750	
		BEN RAÏES	08	1993	APC	874,950	391,000	
BENI BACHIR	OUED SAF-SAF	GUESSABA	-	2016				Nappe alluvionnaire du SAF-SAF
		F1(Khazri)	12	2002	APC			
		F2 (Bouhadja)	12	2002	APC	877,950	395,550	
		F3(PS 5)	10	2003	APC	876,100	394,100	
		F4 (Ali A/ Enour)	05	1991	APC	880,050	398,350	
SALAH BOUCHAOÛR	OUED SAF-SAF	F5(PS3)	-	2003	APC	876,100	394,100	Nappe alluvionnaire du SAF-SAF
		SALAH BOUCHAOÛR F1	10	2003	ADE	872,750	388,500	
		SALAH BOUCHAOÛR F2	16	2000	ADE	872,450	387,250	
		SALAH BOUCHAOÛR F4	10		ADE			
		KOUDIET RMEL	08	1987	APC	873,250	388,750	
		USA OUED KSOB	04	1995	APC	872,500	387,600	
		SALAH BOUCHAOÛR F3	10	2003	APC	872,800	388,500	
SARKI MOHAMMED	08		APC	873	388,936			

