

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

*Université Mohammed Seddik Benyahia -Jijel*

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : des Sciences de la Terre et de  
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: علوم الأرض و الكون

## **Mémoire de fin d'études**

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : **Eau et Environnement**

### **Thème**

**Etude hydrochimique des eaux de surface de la région  
d'Azzaba W.Skikda**

#### **Membres de Jury**

**Président : Debieche Taha Hocine**

**Examineur: Djorfi Samir**

**Encadrant : Rihia Djamel**

#### **Présenté par :**

**Labioud Naima**

**Bouaita Djamilia**

**Année Universitaire 2017-2018**

**Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....**

## **Remerciements**

*Avant tout, nous remercions Allah pour nous avoir donné la santé, le courage, la patience et la volonté pour réaliser ce travail.*

*Cette étude a été réalisée dans la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Jijel, département de la géologie.*

*Nous adressons notre reconnaissance à Monsieur M.TEKKOÛ, chef de département de géologie, comme nous avons aussi le devoir de remercier tous les enseignants du département de géologie qui nous avaient formées pendant toutes ces années d'études.*

*Nous remercions tout particulièrement Mr Dj. RIHIA maître de conférences à l'université de Jijel, qui nous a proposé ce sujet, pour ses conseils et son aide durant toute la période du travail et pour nous avoir guidées et encouragées.*

*Nos vifs remerciements vont également à Mr T.H.DEBIECHE professeur à l'université de Jijel, qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de ce mémoire.*

*Nous remercions Mr S.DJORFI maître de conférences à l'université de Jijel, pour avoir accepté d'examiner ce travail et faire partie du jury.*

*Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



## *Dédicaces*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral  
et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié  
pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis,  
à toi mon père.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme  
de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman que j'adore.*

*A Mon cher frère, Mokhtar*

*A Mon fiancé, Mohamed*

*A mes chères sœurs, Moufida et Fatiha*

*A Toute ma famille, oncles, cousins, tantes*

*A mon binôme Djamila*

*A Tous mes amis : Khadidja, Mira, Razika et Fatima*

*A tous mes collègues de la promotion de 2018*

***Naima***



## **Résumé**

La présente étude permet d'identifier la qualité des eaux de surface de sous bassin d'Oued Fendek situé dans la région d'Azzaba wilaya de Skikda qui notre objectif essentiel. A ce but, notre étude traite les aspects géologique, hydroclimatologique, hydrochimique et la pollution des eaux de sous bassin.

Le sous bassin d'Oued Fendek fait partie du sous bassin de Kébir Hammam, avec des principaux cours d'eau ; Oued Fendek, Oued Zebda et Krob. Il se caractérise par un climat méditerranéen, humide et froid en hiver et chaud et Sèche en été.

La qualité des eaux du sous bassin d'Oued Fendek, assez bonne, vue aux teneurs faibles des éléments en trace étudier à savoir, le Cuivre, le Zinc et le Cadmium.

Les teneurs du Ph et la température des eaux de surface de sous bassin est acceptable, elles répondent aux l'exigence de l'OMS. Par contre les concentrations de la conductivité électrique et totale des solides dissous, dépassent les normes de l'OMS diffusées en 2017. Les eaux de la zone d'étude classées mauvaise qualité par rapport les deux derniers paramètres (CE et TDS).

**Mots clés : Azzaba, Oued Fendek, eaux de surface, Pollution, Norme de potabilité.**

## **Abstract**

The present study allowed to identify the quality of waters of surface of under basin of Oued Fendek situated in the region of Azzaba wilaya of Skikda, who our essential objective. In this purpose, our study handles the geologic, hydroclimatological, hydrochemical aspects and the water pollution of under basin.

Under basin of Oued Fendek be a part of under basin of Kébir Hammam, with main streams; Fendek stream, Zebda and Krob. It characterized by a Mediterranean climate, wet and cold in winter and Hot and dry in summer.

The quality of waters of under pond of Oued Fendek, rather good, seen in the low contents of elements in track to study as: the Copper, the Zinc and the Cadmium.

The contents of the PH and the temperature of waters of surface of under basin is acceptable, they answer in the requirement of the WHO. On the other hand the concentrations of the electric conductivity and total of the dissolved solids exceed the standards of the WHO spread in 2017. Waters of the zone of study classified bad quality by report the last two parameters (CE and TDS).

**Key words: Azzaba, Oued Fendek, surface waters, Pollution, Standards of potability.**

## المخلص

إن هذه الدراسة تسمح لنا بمعرفة نوعية المياه السطحية لحوض واد فندق بمنطقة عزابة ولاية سكيكدة و الذي هو هدفنا الرئيسي . و لهذا الغرض دراستنا تتناول الجوانب التالية : جيولوجيا المنطقة و المناخ السائد و كيمياء المياه و تلوث المياه في المنطقة.

إن حوض واد فندق هو جزء من حوض واد كبير حمام، و هو يتكون من ثلاثة وديان رئيسية هي : واد فندق و واد زبدة و واد قرب. يتميز بمناخ البحر الأبيض المتوسط، فهو بارد و ممطر شتاء، حار و جاف صيفا. تعتبر نوعية المياه السطحية لحوض واد فندق جيدة من حيث احتوائها على تراكيز جد ضعيفة من معادن النحاس و الكاديوم و الزنك.

درجة حرارة هذه المياه وحموضتها مقبولة جدا مقارنة بالحدود المنصوح بها من طرف المنظمة العالمية للصحة. في حين ناقليتها للكهرباء و جملة المواد الصلبة الذائبة، تتجاوز حدود المنظمة العالمية للصحة. و بالتالي فان هذه المياه تصنف بالسيدة بالنسبة للمعيارين السابقين.

**الكلمات المفتاح: عزابة، واد فندق، المياه السطحية، التلوث، الحدود.**

## Table des matières

1. Liste des tableaux	
2. Liste des figures	
3. Introduction générale.....	1

### CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique .....	2
I.2. Aperçu Socio-économique.....	2
I.3. Réseau hydrographique.....	3
I.4. Géomorphologie et relief.....	4
I.5. Végétation.....	5
I.6. Conclusion.....	5

### CHAPITRE II : Aperçu Géologique

II.1. Géologie régionale.....	6
II.2. Stratigraphie.....	6
II.2.1. Domaine interne.....	6
II.2.1.1. Le socle Kabyle (Paléozoïque).....	6
II.2.1.2. La chaîne calcaire ou Dorsale Kabyle .....	8
II.2.2. Domaine externe .....	8
II.2.2.1. Les Flysch.....	8
II.2.2.1.1. Le Flysch Mauritanien.....	8
II.2.2.1.2. Le Flysch Massylien .....	9
II.2.2.2. Le Nummulitique II et l'Oligo-Miocène Kabyle (O.M.K) .....	9
II.2.2.3. La série numidienne .....	9
II.2.2.4. Les formations post-nappe et les affleurements .....	9
II.2.2.5. Le Quaternaire .....	9
II.3. Tectonique .....	10
II.4. Conclusion .....	11

### CHAPITRE III: Étude hydroclimatologique

III.1. Introduction.....	12
III.2. Les facteurs climatiques.....	12
III.2.1. Les précipitations.....	12

III.2.1.1. Coefficient pluviométriques (CP) .....	13
III.2.1.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations .....	15
III.2.2. Les températures .....	17
III.2.2.1. Variations moyennes mensuelles des températures .....	17
III.2.2.2. Courbes Ombro-thermique .....	18
III.2.2.2.1. Courbe ombro-thermique "station de Azzaba" .....	18
III.2.2.2.2. Courbe ombro-thermique "station de Skikda" .....	19
III.2.3. L'humidité relative .....	20
III.2.4. Le vent.....	21
III.3. Caractéristiques climatiques d'aridité .....	22
III.4. Bilan hydrique .....	22
III.4.1. Estimation des paramètres du bilan .....	23
III.4.1.1. L'évapotranspiration .....	23
III.4.1.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	23
III.4.1.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR) .....	24
III.4.1.2. Déficit agricole (DA) .....	24
III.4.2. Expression du Bilan Hydrique .....	24
III.4.3. Méthode du bilan hydrique .....	24
III.4.4. Le ruissellement (R) .....	25
III.4.5. Infiltration (I) .....	25
III.6. Interprétation du bilan hydrique .....	26
A / Station de Azzaba .....	26
B / Station de Skikda .....	28
III.5. Conclusion .....	30

## **CHAPITRE IV: Cadre Hydro chimique**

IV.1. Introduction .....	31
IV.2. Etude du chimisme des eaux .....	31
IV.2.1. Echantillonnage et point de prélèvement .....	31
IV.2.1.1. Mode d'échantillonnage .....	31
IV.2.2. Mode opératoire .....	32
IV.2.2.1. Mesure in situ .....	32
IV.2.2.2. Mesure au laboratoire .....	33
IV.2.3. Résultats et discussion .....	33



IV.2.3.1. La température .....	33
IV.2.3.2. Potentiel d'Hydrogène (PH) .....	33
IV.2.3.3. La Conductivité Electrique (CE) .....	34
IV.2.3.4. Le total des solides dissous (TDS) .....	36
IV.2.3.5. Le Cuivre (Cu <sup>2+</sup> ) .....	37
IV.2. 3.6. Le Cadmium (Cd) .....	38
IV.2.3.7. Le Zinc (Zn) .....	40
IV.2.3.8. Origines naturelles et humaines des métaux lourds dans l'environnement .....	42
IV.3. Conclusion.....	43
Conclusion générale .....	44
Bibliographie.....	45



## Liste des Figures

Fig.1 : Carte de situation géographique.....	2
Fig.2 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin Oued Emchekel .....	3
Fig.3 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin d'Oued Fendek.....	4
Fig.4 : Carte géologique de la région d'étude (d'après J.M. Vila, 1980) .....	7
Fig.5 : Log stratigraphique de la zone mercurielle Nord Numidique .....	10
Fig.6 : Variations des coefficients pluviométriques pour les deux stations (Azzaba et Skikda).....	15
Fig.7 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Azzaba.....	16
Fig.8 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Skikda.....	16
Fig.9 : Variations moyennes mensuelles des températures en (°C) à la station d'Azzaba.....	18
Fig.10 : Variations moyennes mensuelles des températures en (°C) à la station de Skikda.....	18
Fig.11 : Courbe ombro-thermique de la station d'Azzaba.....	19
Fig.12 : Courbe ombro-thermique de la station de Skikda.....	20
Fig.13 : Représentation graphiques du bilan hydrique (P, T, ETP et ETR) station d'Azzaba.....	27
Fig.14 : Représentation graphiques du bilan hydrique (RFU, EXC et DEF) station d'Azzaba.....	27
Fig.15 : Représentation graphiques du bilan hydrique (P, T, ETP et ETR) station de Skikda .....	29
Fig.16 : Représentation graphiques du bilan hydrique (P, T, ETP et ETR) station de Skikda.....	29
Fig.17: Carte d'inventaire des points de prélèvement .....	32
Fig.18: Courbe de variation de la température.....	33
Fig.19: Courbe de variation du PH .....	34
Fig.20: Carte de variation de la conductivité électrique (CE).....	35
Fig.21: Carte de variation du total des solides dissous (TDS) .....	36
Fig.22: Carte de variation du Cuivre ( $\text{Cu}^{+2}$ ).....	37
Fig.23: Carte de variation du Cadmium (Cd).....	39
Fig.24: Carte de variation du Zinc (Zn) .....	41

## Liste des tableaux

Tableau. 1 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques .....	12
Tableau. 2 : Précipitations moyennes annuelles en (mm) et coefficients pluviométriques (CP) Des stations Azzaba et Skikda (1980-2011).....	14
Tableau. 3 : Variations moyennes mensuelles des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba et Skikda .....	15
Tableau. 4 : Températures moyennes mensuelles(C°) .....	17
Tableau. 5 : Humidités relatives moyennes mensuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981- 2012/2013) .....	20
Tableau. 6 : Humidités relatives moyennes annuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013) .....	21
Tableau. 7 : La vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) à la station de Skikda (1980/1981- 2012/2013) .....	21
Tableau. 8 : Indice d'aridité annuelle d'après la formule de DE.MARTONN .....	22
Tableau. 9 : coefficients d'ajustement mensuel .....	23
Tableau. 10 : Tableau récapitulatif des termes du bilan hydrique des deux stations.....	25
Tableau. 11 : Bilan hydrique pour la station d'Azzaba d'après la méthode de C.W. Thornthwaite .....	26
Tableau. 12 : Bilan hydrique pour la station de Skikda d'après la méthode de C.W. Thornthwaite .....	28
Tableau. 13 : Coordonnées des points de prélèvement .....	31
Tableau. 14: Liste non exhaustive de la provenance des métaux lourds et métalloïdes dans L'environnement (Sparks, 1998) .....	42

## **Introduction générale :**

L'eau s'est la vie, sans eau pas de vie. Elle représente 75% du corps humain ; elle couvre les trois quarts de la surface de la terre, elle est aussi emmagasinée dans les cavités de son sous-sol et suspendue dans l'atmosphère qui l'entoure .elle se présente sous trois formes (solide, liquide et vapeur) et selon divers qualité dont l'eau salée est la plus dominante. Pour cela la conservation des ressources d'eau est la mission de toute l'humanité.

La pollution des ressources de l'eau est un problème mondial, avec ses différents types (pollution industrielle, domestique, naturelle...) parmi les quelles, la contamination par les métaux lourds. Ce sujet a fait l'objet de plusieurs études en Algérie et dans le monde.

Le sous bassin d'Oued Fendek, fait partie du bassin d'Oued Emchekel, la présence des agglomérations (Azzaba et Es sebt), activités d'agriculture et l'ancien usine du mercure avec ces déchets, dans le sous bassin versant; représentent un vrai menace pour les eaux de surface de ce dernier.

La présente étude permet d'identifiées le chimisme de l'eau de surface de sous bassin d'Oued Fendek dans la région d'Azzaba et l'évaluation de ses qualité par rapport aux concentrations des métaux lourd qui est notre objectif principal.

Notre contribution consiste à donner un aperçu géologique, hydroclimatologique, et hydrochimique de la région d'Azzaba willaya de Skikda, et de surveiller la pollution des eaux de surface de sous bassin d'Oued Fendek à Azzaba par les métaux lourds. A cet égard une étude géologique locale de la région, et l'élaboration d'une campagne de prélèvement pour les analyses chimiques sont des démarches obligatoires pour mieux comprendre les caractéristiques de ces eaux de surface.

Les principales sources des métaux lourds dans les eaux de surface d'Azzaba sont les suivantes: les eaux usées domestiques, la production agricole, les anciennes décharges.

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'environnement, car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, complexassions, etc.), et car cette évolution dépend fortement du milieu.

# CHAPTER I

## CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude

### 1. Situation géographique

La région d'Azzaba fait partie de la wilaya de Skikda (Fig. 1). Elle est située au Sud de la Wilaya ; au Nord-Est Algérien, à 80Km au Nord-Est de Constantine, à 67Km au Sud-Ouest d'Annaba, entre la latitude  $36^{\circ} 76' 08''$  et  $36^{\circ} 85' 35''$  Nord et la longitude  $7^{\circ} 20'$  et  $7^{\circ} 40'$  Est.

Connue par son champ minier essentiellement mercuriel, Azzaba était une région d'exploitation minière très active, notamment le gisement de mercure d'Ismail.

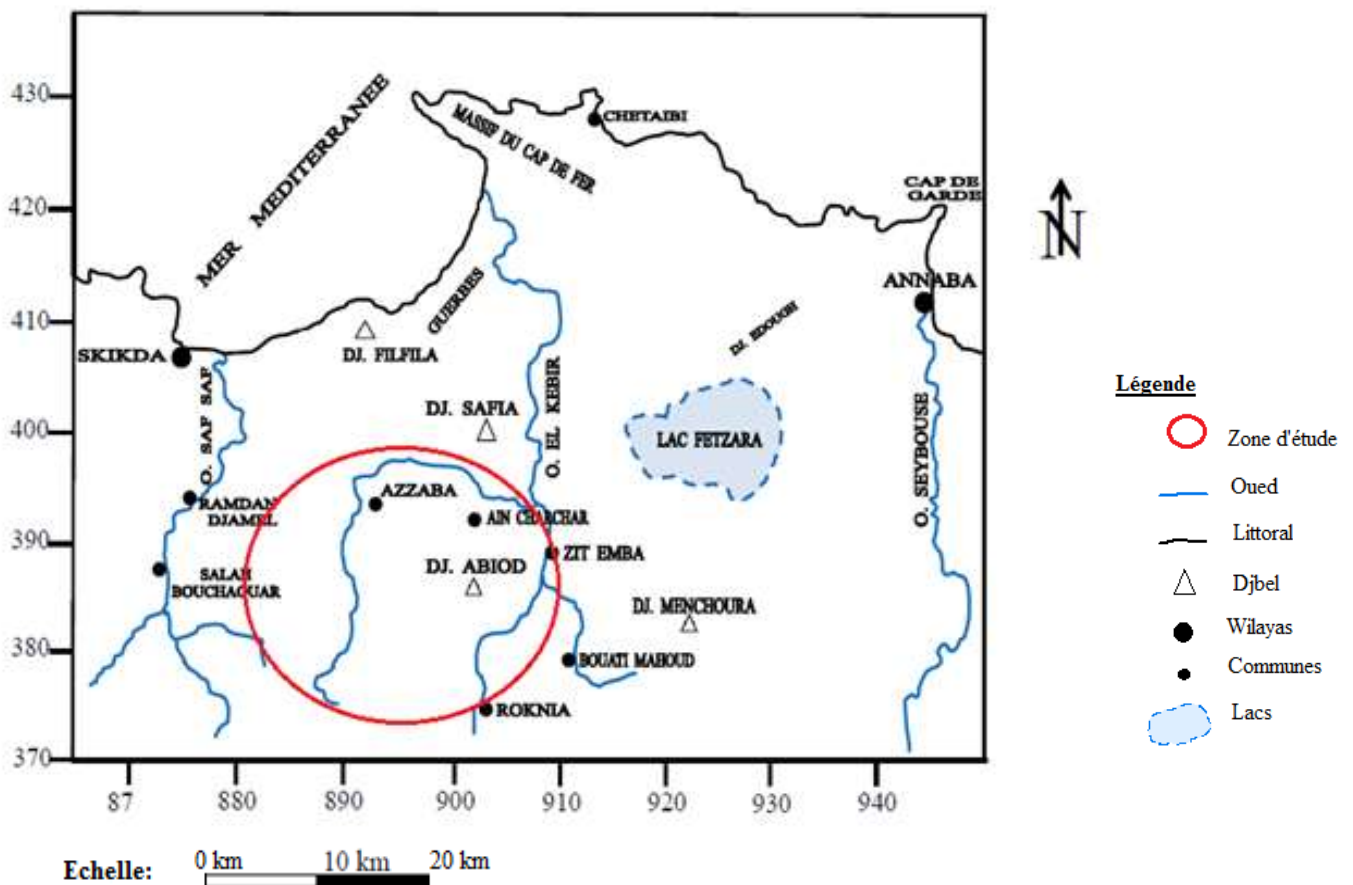


Fig.1 : Carte de situation géographique

### 2. Aperçu Socio-économique

La qualité des sols dépend pour l'essentiel de la roche mère et de la topographie, facteurs déterminants des modalités de la circulation des eaux. Ces caractéristiques sont favorables à une agriculture polyculturelle. Les cultures maraîchères et céréales qui sont pratiquées sont largement développées.

Les principales ressources économiques de la région sont à l'exploitation minière et l'agriculture. Les champs miniers sont concentrés autour des agglomérations (Azzaba, Es Sebt et Menzel

Bendich). L'industrie ne présente aucune puissance à part l'usine de mercure qui, actuellement est fermée.

Dans le milieu rural, certaines maisons sont dispersées, d'autres sont groupées en hameaux. Ceux-ci ont souvent tendance à former de petites agglomérations à caractère urbain.

### 3. Réseau hydrographique

La zone d'étude est située dans le sous bassin de Kébir Hammam de code (03-11) (source ANRH), Le réseau hydrographique de la zone d'étude (Fig. 2 et 3) est assez dense, caractérisé par les principaux cours d'eau suivants:

**Oued Fendek** : prend naissance dans les contreforts septentrionaux de la chaîne numidique,

**Oued Emchekel** : la collection d'Oued Fendek et Oued Krob, constitue un important cours d'eau qui s'appel Oued Emchekel.

**Oued El Kébir** : C'est le résultat d'une confluence de deux Oueds de Emchekel et El Hammam, Oued El Kébir draine la zone de Guerbès, il poursuit son parcours vers le nord et contourne les dunes pour rejoindre la mer méditerranée.

Ces oueds sont :

- Permanents au cours de l'année
- Caractérisés pendant les périodes sèches par des minces filets d'eau alors que lors des saisons pluvieuses ils sont inondés.

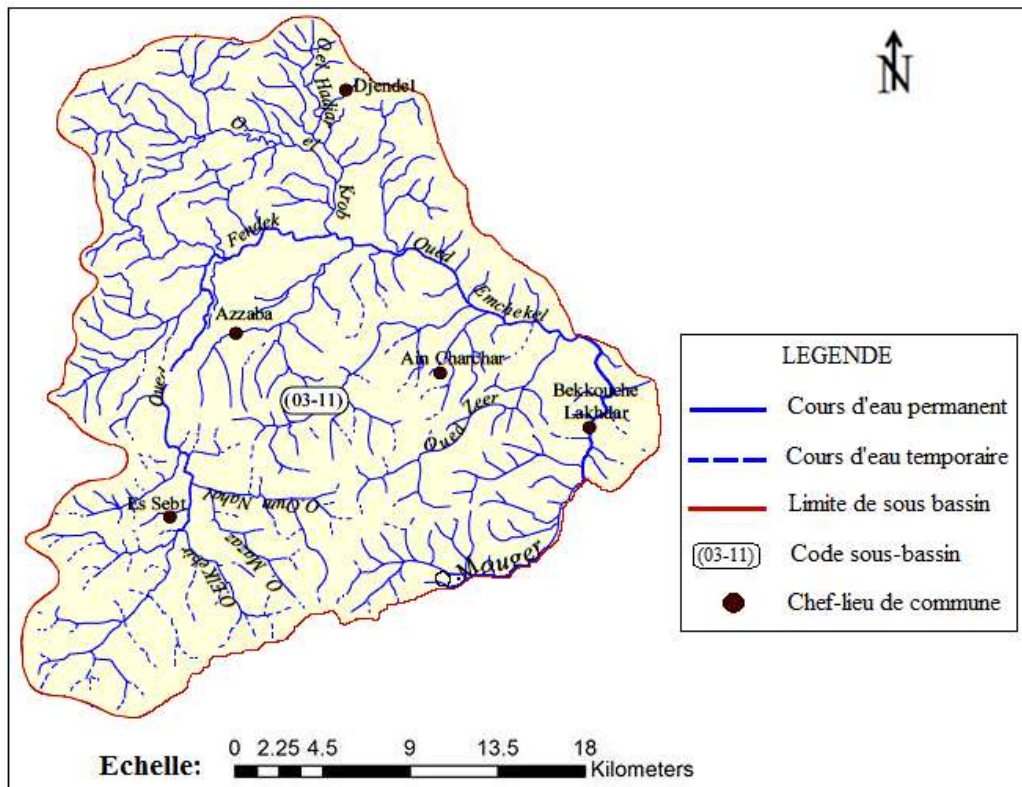
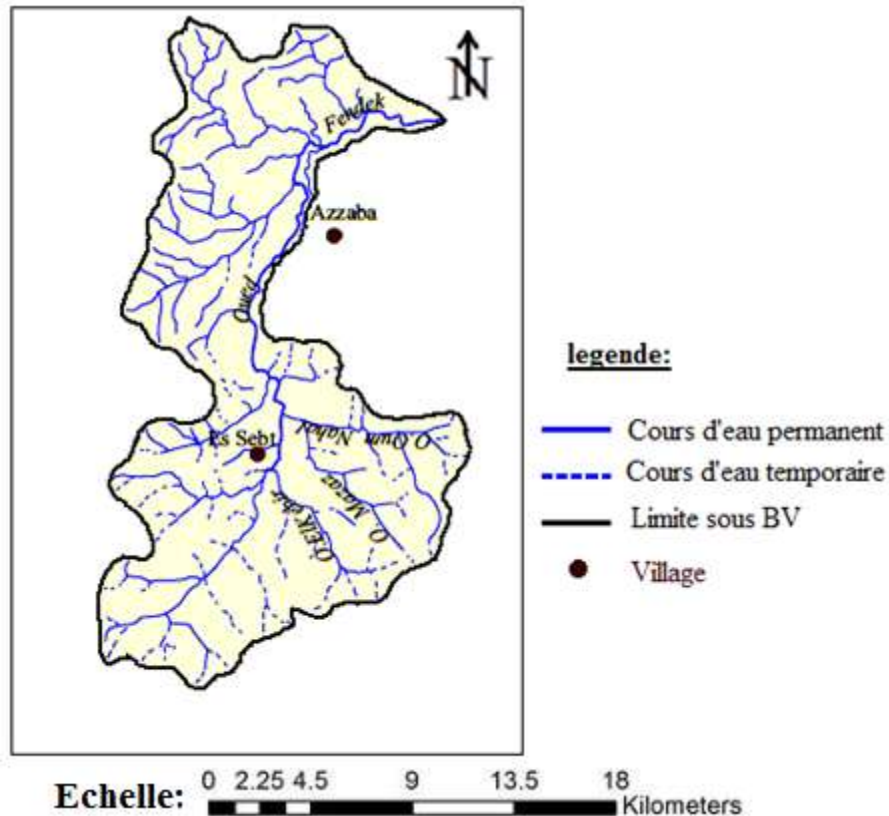


Fig.2 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin Oued Emchekel





**Fig.3 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin d'Oued Fendek**

#### 4. Géomorphologie et relief

Le tell oriental Algérien est caractérisé en général par une morphologie complexe à cause de la tectonique qui affecte la région. Comme notre terrain appartient de ce tell, il est caractérisé par une morphologie variable.

- La dépression d'Azzaba est une plaine peu ravinée, elle se situe dans la zone mercurielle Nord Numidique.
- Des reliefs de pente moyenne en général à sommets arrondis, à l'exception des affleurements calcaires (Djebel Safia et Koudiets Embarek) qui donne des pentes plus raides et escarpées.
- Les terrasses dans la région d'Azzaba constituées de Quaternaire (agrégat, argile, sable), les hautes et moyennes terrasses sont constituées des terrains humides avec la présence d'une couche des eaux souterraines et supporter les glissements de terrain et l'érosion, alors que les basses terrasses ont été connues par le problème des inondations et de creusement des bordures, ces terrasses limoneux-argileux (galet lisse et galet grossier) constituent les terres irriguées par l'eau turbide (PDAU de la commune d'Azzaba).

## **5. végétation**

Les conditions climatiques caractérisent la wilaya de Skikda en générale et Azzaba spécialement favorisent le développement d'une végétation typique dans la région. On trouve surtout des cultures maraîchères et la céréaliculture ainsi que des orangeries et des vignes, les montagnes sont couvertes de maquis et des chaînes lièges.

## **6. Conclusion**

La région d'étude est recouverte par une végétation assez dense, Le réseau hydrographique est représenté par l'Oued zebda et l'Oued fendek, L'agriculture et l'élevage sont les occupations essentielles de la population de la région, L'industrie est peu développée, elle est représentée essentiellement par des petites entreprises étatiques, en faisant abstraction de l'usine de mercure, Sur le plan minier, la région de Azzaba se distingue par la zone mercurielle Nord numidique, regroupant les gisements miniers de mercure disposés en champs miniers à savoir : les gisements de Ras el Ma, Ismail, Guenicha, Mra Sma I et II et celui de Koudiat Sma.

# CHAPTER II

## CHAPITRE II : Aperçu Géologique

### 1. Géologie régionale

Notre zone d'étude fait partie de la petite Kabylie d'après Les études de M.Raoult 1974, M.DurandDelga 1969, J.P.Bouillin 1977, J.M.Vila 1981 et al, cette dernière fait partie de l'ensemble géologique de l'Atlas tellien. Cette zone est caractérisée par sa complexité lithologique et structurale et appartient à la zone septentrionale de l'orogénie littorale Nord-Africain (Figure 4).

### 2. Stratigraphie

Le tell Algérien n'est qu'une partie de l'Atlas Tellien, il s'agit d'une morphologie typiquement méditerranéenne. Les travaux des géologues dans l'Est, ont permis de mettre en évidence du point de vue structural, du Nord au Sud les domaines suivants :

- Le domaine des massifs primaires Kabyles,
- Le domaine Tellien,
- Le domaine de l'atlas Saharien,
- Le domaine de la plate forme Saharienne.

Les principales unités structurales du Nord au Sud qui caractérisent notre terrain sont :

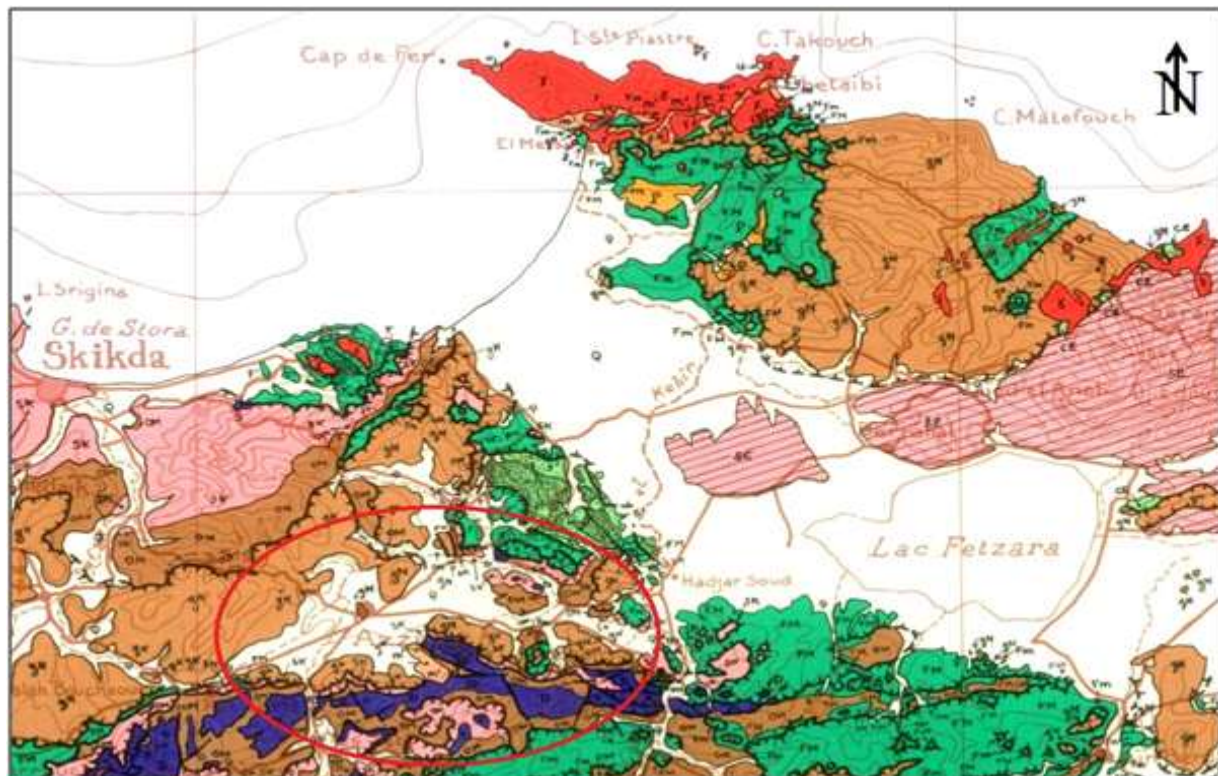
- Le domaine interne qui correspond au socle Kabyle et à la dorsale calcaire.
- Le domaine externe qui correspond aux Flyschet séries Telliennes.

#### 2.1. Domaine interne

##### 2.1.1. Le socle Kabyle (Paléozoïque)

Les formations paléozoïques servent de substratum à la chaîne calcaire et la zone minéralisée. Le socle Kabyle est constitué de plusieurs ensembles superposés qui sont :

- L'ensemble supérieur, formé des schistes satinés ou phyllades ayant subi un métamorphisme de basse pression avec une zone inférieure à biotite et une zone inférieure à chlorite. Ce métamorphisme pourrait être Tardi-Cadomien ou Néo-Calédonien. Des grès localement, des porphyroïdes œillés (roches éruptives acides très étirées) et des carbonates apparaissent vers la base de cette formation avec des granites écrasées.
- L'ensemble inférieur, comporte des gneiss. Des intercalations de quartzites et de marbres localement puissants et parfois des amphibolites.
- Un ensemble sédimentaire Paléozoïque débutant au Cambrien atteignant le carbonifère.
- Un ensemble cristallin profond appartenant au faciès des granulites. Durant tout le secondaire et jusqu'à l'Oligocène terminal. En effet, les dépôts de « l'Oligo-Miocène-Kabyle » reposent directement sur le socle (M.DurantDelga 1969 et J.F.Raoult 1974).

**Legende:****Roches Eruptives Récentes**

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

**Socle Kabyle, Chaîne Calcaire**

- Oligo-Miocène Kabyle, olistostromes à flyschs résédimentées (y compris le Numédien) et flyschs en position nord-kabyle(F)
- Chaîne Calcaire: Paléozoïque à Lutétien supérieure des zones internes, médiane et externe.
- SK-Socle métamorphique de petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres).

**NAPPES TELLIENNES****Nappes Telliennes S.S**

- T.Unités Telliennes non différenciées parfois réduites à leur éocène de colle

**Trias Exotique Ou Extrusif**

- Argiles, gypses broyés et glaçons calcaro-dolomitiques

**Nappe Numédienne**

- Grés numidiens et séries mixtes

**Roches Récentes Et Cycles Postérieures Au Burdigalien Inférieur.**

- Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).
- Pliocène marin des zones Côtières.

**Nappes De Flyschs Kbylies. Flysch Maurétaniens**

- Séries internes d'Ain Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, Settiter, de Bou Taleb, de la Robertseau (Soukes Sebt) et de la marsa. Séries médianes de Guerouch, d'El Kam, de Khorchef, de Ghzala et de Sud d'Ain Berda (Penthièvre) Série externes (ex-"médiann") et séries atypiques de de kef mezzouch Tamalous et de ziane.

- Limite de la zone d'étude

Echelle 1/50000

Fig. 4 : Carte géologique de la région d'étude (d'après J.M. Vila, 1980)

### 2.1.2. La chaîne calcaire ou Dorsale Kabyle

Comme son nom l'indique, la dorsale Kabyle est constituée essentiellement de formations carbonatées dont la datation s'étend du Lias inférieur au Lutétien. L'étude de la chaîne calcaire du tell oriental Algérien a été menée par (J.F.Raoult 1974 et J.M.Vila 1980). Pour chacune de ces zones, les faciès et l'épaisseur des calcaires sont différents, ceux-ci jouent un rôle important du point de vue géomorphologique et hydrogéologique, l'évolution Karstique et périglaciaire est donc différente (figure 5).

Les trois zones sont :

- Au Nord, la Dorsale interne reste émergée jusqu'aux Paléozoïques puis à partir de l'Eocène s'y déposent des calcaires néritiques massifs à riches microfaunes benthiques (Nummulites, Alviolines, Orthophragmines etc...). cette sédimentation atteint le sommet du Lutétien (J.F.Raoult 1974).
- La Dorsale médiane (Djebel Bou Abid) montre une sédimentation marno-calcaire à microfaunes pélagiques permettant de dater le Crétacé supérieur, le Paléocène et l'Eocène jusqu'au Lutétien. Durant le Lutétien supérieur apparaissent des Nummulites dans des niveaux très minces (0,5 m) intercalés dans des marnes.
- Au Sud, la Dorsale externe ou la situation est plus complexe. On peut distinguer des séries relativement internes, KoudietsAissa et Méra (J.F.Raoult 1974) ou la sédimentation détritique grossière débute pendant le Paléocène et les séries plus externes proche du bassin des flysch dont la sédimentation comparable débute dès le Crétacé supérieur. Cette sédimentation qui résulte en partie de la destruction des zones émergées de la Dorsale s'effectue sur les pentes d'un talus mobile, frontière entre la Dorsale et le bassin des flysch.
- Enfin J.F.Raoult a montré (1968, 1969) sur la transversale de Skikda-Constantine que la Dorsale a été le lieu d'une tectonique tangentielle à vergence Sud à partir de la fin du Lutétien.

## 2.2. Domaine externe

### 2.2.1. Les Flysch

#### 2.2.1.1. Le Flysch Mauritanien

Le terme Mauritanien a été proposé pour une série allant du Malm au Lutétien supérieur et présentant partout des dépôts du nummulitique I à l'inverse du flysch Massylien. Ce flysch débute par le type Guerrouch (Crétacé inférieur) et se poursuit par le flysch Sénonien à nummulitique (flysch de Penthièvre, J.M.Vila 1967) dans la partie orientale de la Dorsale.

### **2.2.1.2. Le Flysch Massylien**

Il est représenté par le flysch Albo-Aptien, argilo-quartzitique des niveaux du Vraconien au Turonien inférieur, montrant soit des phtanites, soit des brèches du Sénonien marno-microbréchique (flysch à microbrèches). Au Sud de la Dorsale, le flysch Massylien est représenté par un flysch marno-bréchique du sénonien, alors qu'au Nord sa lithologie est variée avec des microbrèches accompagnées de calcaires fins, sableux et d'argiles (J .F Raoult, 1974).

### **2.2.2. Le Nummulitique II et l'Oligo-Miocène Kabyle (O.M.K)**

Le nummulitique II constitue la couverture commune des différentes unités structurales de la Dorsale Kabyle et des séries Mauritaniennes. Le terme O.M.K désigne l'ensemble des formations détritiques discordant sur le socle Kabyle et datées à leur base de l'Oligocène terminal et/ou Aquitaniens inférieur (J.F. Raoult, 1974).

Dans les argiles de l'O.M.K se rencontrent des blocs qui sont des éléments de toutes tailles et constituent des nappes de flysch.

### **2.2.3. La série numidienne**

La série numidienne est d'âge Oligocène-Miocène inférieur, elle est développée sur les flancs Nord de la dépression d'Azzaba, elle est composée des argiles dites sous-numidiennes, vari colore et fréquemment à Tubotomaculum ; des grés numidiens grossiers et parfois à dragées de quartz ; des argiles supra-numidiennes à horizons siliceux. Dans la région où il n'y a pas de tectonique tangentielle d'âge Miocène moyen ou supérieur, la série numidienne surmonte toujours les autres nappes et n'est impliquée dans aucune des contacts anormaux les séparant.

### **2.2.4. Les formations post-nappe et les affleurements**

Les dépôts du Miocène moyen et terminal tant dans leurs faciès marins que dans leurs faciès continentaux, sont franchement discordants sur toutes les unités antérieures et représentent ainsi les formations post-nappes qui affleurent surtout dans les régions littorales. Deux affleurements seulement ont été signalés au Sud d'Azzaba par (J.M.Vila, 1980) qui présente des marnes fins du Burdigalien et les argiles grises de Dréan datées aussi de la fin du Burdigalien.

### **2.2.5. Le Quaternaire**

Le Quaternaire est composé d'alluvion de toutes sorte : limon, sable, argile-sableuse, cailloutis, arènes et en moindre importance des travertins et des tufs calcaires (Daifallah.T 2008).

Unité structurale	lithologie	Symbole et épaisseur (m)	Désignation et formation
La formation Post-nappe		q	Argilites sableuse et cailloutis
		M	Grès calcaires et conglomérat polymétalliques
Dorsale Kabyle		g <sup>2</sup> :500m	Grès Argiles
		ζ <sup>2</sup> :400m	Conglomérats et grès polymétalliques
		e <sup>45</sup> :140m	Conglomérats bréchiques avec une alternance de grès polymétalliques et argilites
		e <sup>34</sup> :45m	Conglomérats brèches calcaires, grès dolomitiques
		e <sup>3</sup> :20m	Grès calcaires parfois argilites et siltites
		e <sup>23</sup> :35m	Calcaires dolomitiques, gréseux et parfois argilites
		e <sup>1</sup> :15m	Conglomérats massifs
		C <sup>6</sup> :13m	Aleurolites, calcaires gréseux et argilites
		C <sup>5</sup> :120m	Conglomérats de bas calcaires, calcaires siliceux, pseudo-brèches calcaires
		n <sup>13</sup> :130m	Conglomérats brèches calcaires avec des microbrèches
		J <sup>3</sup> :25-50m	Conglomérat brèches avec des microbrèches
		J <sup>2</sup> :30m	Grès calcareux et des schistes calcareux
		J <sup>1</sup> :23m	Dolomie, calcaires intercalé par des dolomies gréseux
		t <sup>13</sup> :450-500m	Conglomérats quartzeux, grès polygéniques alternants avec des aleurolites
	Socle Kabyle		p <sub>z</sub> :<400m
		x <sub>go</sub> : 150m	Gneiss

Fig. 5: Log stratigraphique de la zone mercurielle Nord Numidique

### 3. Tectonique

La région étudiée présente une complexité, conditionnée par la superposition de nombreuses nappes, des plis, une série de failles profondes et des charriages liés à de nombreuses phases tectoniques compressives.

La chaîne calcaire (para autochtone) est présentée par la fenêtre tectonique de Djebel Safia (M.DurandDelga, J.F.Raoult et J.M.Vila) caractérisée par un anticlinal déformé d'axe NW-SE et dont la partie orientale est recouverte par des dépôts Quaternaire de la vallée de l'oued Kébir Ouest.

Le Djebel Safia est occupé aussi à l'Est et à l'Ouest par l'ensemble Albo-Aptien d'une épaisseur de 500 m environ désigné Flyschöide par (M.DurandDelga, J.F.Raoult et J.M.Vila).



Dans les limites de la chaîne calcaire, on voit clairement l'autochtone qui est représenté par les roches terrigènes du Permo-Trias, les carbonates du Jurassique, du Crétacé inférieur, et les formations allochtones qui sont composées d'assises métamorphiques du Paléozoïque, avec une couverture tectonique qui constitue les formations numidiennes.

Parmi les failles les plus importantes, celle la grande faille du massif de Djebel Safia qui traverse le site de l'usine « HadjarSoud » cet accident est accompagné par une fracturation des calcaires.

D'autres failles d'orientation :

**NW-SE** : la faille de Zit Emba et l'accident vertical (faille décrochante senestre au Nord d'Azzaba).

**E-W** : on distingue la faille d'Ahmed Ben-Ali au pied du versant Nord de la chaîne numidique. Cette faille limite la dépression d'Azzaba au Sud. Dans l'Oued Saïafa, elle est cisailée par un accident méridional, qui provoque un déplacement horizontal de 200 m. De la même direction on note la faille d'El-Kantour qui paraît avoir joué dès la phase fini-lutétienne (J.F.Raoult 1974).

**S-E** : d'après (Benhamza.M 2007) la faille de Zebda s'étend sur le flanc de l'anticlinal de Meksem. Morphologiquement, c'est une faille inverse de direction N 35°E, dont la lèvre affaissée est la partie Sud-Est. Cette faille est considérée comme une des principales structures contrôlant la minéralisation mercurielle du gisement de Ras-El-Ma.

**N-W** : la faille de Saïafa C'est une faille sécante par rapport aux structures plissées de la sous-zone de Saïafa. Elle s'étend sur 2,5 km. C'est une faille normale redressée (75-90°), dont la partie affaissée est représentée par le flanc occidental. L'amplitude du rejet dépasse 200 m (d'après Benhamza.M 2007).

#### 4. Conclusion

Dans l'ensemble, la géologie de la région est très compliquée, ceci est le résultat de tectonique qui affecte la totalité de la région caractérisée par des déformations souples (plis) et d'autres cassantes (failles) liées à de nombreuses phases tectoniques compressives (L.Lemoy, 1969). La présence des failles et des plis dans le Djebel Safia indiquerait une phase compressive. Dans ces massifs calcaires, il existe donc un réseau de failles liées aux mouvements tectoniques, ces failles qui recourent les fractures sont plus récentes et seraient développés pendant les mouvements récents (M. Hannouche, 2007).

# CHAPTER III

## CHAPITRE III : Étude hydroclimatologique

### 1. Introduction

Le principal cours d'eau traversant la région est l'oued Fendek qui prend sa source dans les contreforts septentrionaux de la chaîne numidique. En amont il a une direction subméridionale et dans la dépression d'Azzaba sa direction est proche de celle de l'Est.

Les pentes de la vallée varient de 0.05 - 0.01 (en amont) à 0.002 - 0.001 (à proximité d'Azzaba).

Le régime hydrologique de l'oued Fendek est en fonction de celui des précipitations. Le débit de l'oued varie de 0.5 - 0.1 litre/seconde en été, jusqu'à quelques dizaines de m<sup>3</sup>/s, durant les périodes de pluies en hiver.

Pendant les années de sécheresse (cela peut se produire quelques années successives), le ruissellement est pratiquement absent pendant 4 à 5 mois d'été.

L'étude des données climatologiques facilite la compréhension des mécanismes de l'alimentation et de la circulation des eaux naturelles. Elle permet de déterminer les termes du bilan hydrique notamment les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

Dans cette étude on a utilisé les données des stations météorologiques de Azzaba et Skikda pour une période allant de 1980 à 2011, dont les coordonnées sont mentionnées dans le Tableau 1.

**Tableau.1 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques**

Cordonnées Station	Code	Coordonnées Lambert (Km)		Altitude (m)	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Période d'observation
		X	Y				
<b>Azzaba</b>	03-11-06	391.35	892.35	93	7° 5' 45"	36° 44' 38"	1980-2011
<b>Skikda</b>	03-09-013	406.40	874.50	1.3	6° 54' 33"	36° 20' 47"	1980-2011

Source : l'A.N.R.H d'Annaba et l'O.N.M de Skikda.

### 2. Les facteurs climatiques

La connaissance des facteurs climatiques (pluviométrie, température...) est indispensable pour quantifier les ressources en eau et déterminer la part de l'eau qui s'infiltré. L'objectif de notre étude est l'analyse de ces facteurs et la détermination des différents termes du bilan d'eau.

#### 2.1. Les précipitations

La pluie est le facteur le plus important pour aborder l'étude du bilan moyen de l'écoulement, elle joue un rôle primordial dans l'alimentation des nappes souterraines et aussi dans le comportement hydrologique des cours d'eau.

L'étude de ce facteur est basée sur la collecte des données. La quantité et la qualité de ces dernières conditionnent les résultats obtenus.

### 2.1.1. Coefficient pluviométriques (CP)

Correspond à la variabilité annuelle des précipitations. Il permet de différencier l'année excédentaire de celle qui est déficitaire. Pour une station donnée, il est défini par le rapport de la pluviométrie (P) d'une année sur la pluviométrie moyenne annuelle ( $p'$ ), d'une série de la station considérée.

$$CP = P / p'$$

Avec :

**CP** : coefficient pluviométrique.

**P** : hauteur des pluies annuelles (mm).

**p'** : Précipitation moyenne annuelle (mm).

D'où

- $CP > 1$  année excédentaire
- $CP < 1$  année déficitaire

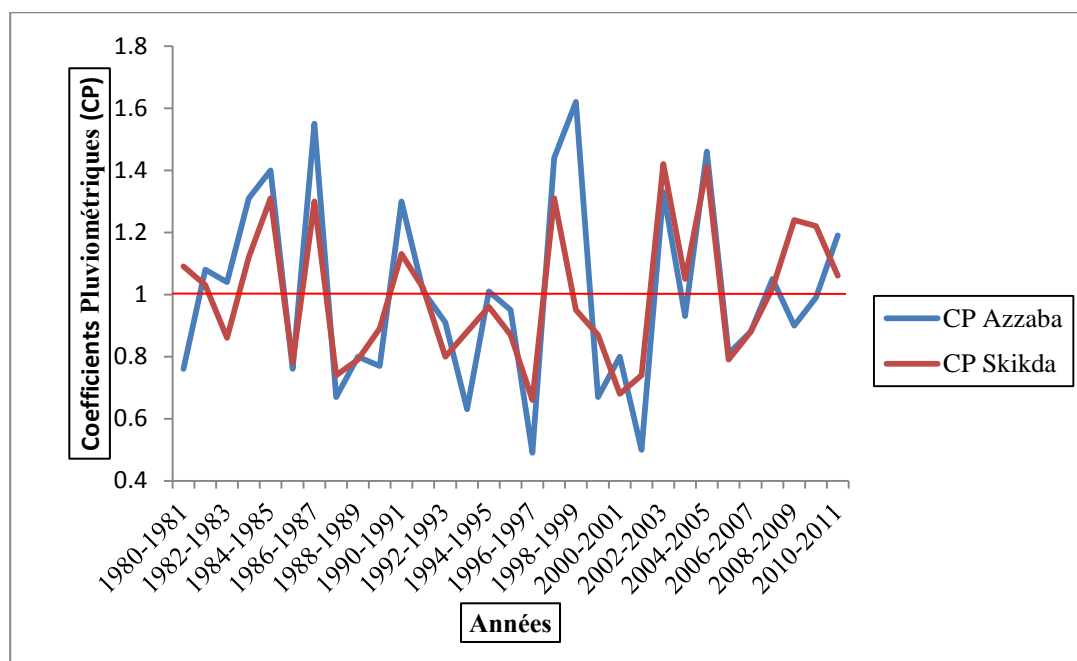
**Remarque** : la pluviométrie annuelle moyenne ( $p'$ ) de chaque station est :

- Station d'Azzaba :  $p' = 629.69$  mm.
- Station de Skikda :  $p' = 786.58$  mm.

**Tableau.2 : Précipitations moyennes annuelles en (mm) et coefficients pluviométriques (CP)  
des stations Azzaba et Skikda (1980-2011)**

<b>P, CP</b> <b>Année</b>	<b>Hauteur annuelle des précipitations stat. d'Azzaba P (mm)</b>	<b>Coefficients pluviométriques pour la station d'Azzaba (CP)</b>	<b>Hauteur annuelle des précipitations stat.de Skikda P (mm)</b>	<b>Coefficients pluviométriques pour la station de Skikda (CP)</b>
1980-1981	477.7	0.76	861	1.09
1981-1982	678.9	1.08	811.5	1.03
1982-1983	653.6	1.04	675.8	0.86
1983-1984	821.8	1.31	884.9	1.12
1984-1985	883.8	1.40	1034	1.31
1985-1986	475.7	0.76	613	0.78
1986-1987	978.3	1.55	1025	1.30
1987-1988	421.1	0.67	585	0.74
1988-1989	500.7	0.80	619	0.79
1989-1990	485.9	0.77	701	0.89
1990-1991	817.9	1.30	888	1.13
1991-1992	638.1	1.01	804	1.02
1992-1993	575.7	0.91	633	0.80
1993-1994	396.7	0.63	692	0.88
1994-1995	633	1.01	753.5	0.96
1995-1996	597.1	0.95	685.8	0.87
1996-1997	308.1	0.49	518.5	0.66
1997-1998	907.3	1.44	1032.9	1.31
1998-1999	1021.6	1.62	746.1	0.95
1999-2000	420.9	0.67	683.6	0.87
2000-2001	505	0.80	537.7	0.68
2001-2002	314.3	0.50	578.4	0.74
2002-2003	835.9	1.33	1119.9	1.42
2003-2004	588	0.93	824.3	1.05
2004-2005	921.1	1.46	1112.3	1.41
2005-2006	510	0.81	619.8	0.79
2006-2007	552.8	0.88	694.4	0.88
2007-2008	661.1	1.05	805.3	1.02
2008-2009	564.6	0.90	978.9	1.24
2009-2010	623.4	0.99	959.3	1.22
2010-2011	750.3	1.19	835.8	1.06

Le tableau 2 montre la variation du coefficient pluviométrique au cours des années d'observation dans chaque station.



**Fig.6 : Variations des coefficients pluviométriques pour les deux stations (Azzaba et Skikda).**

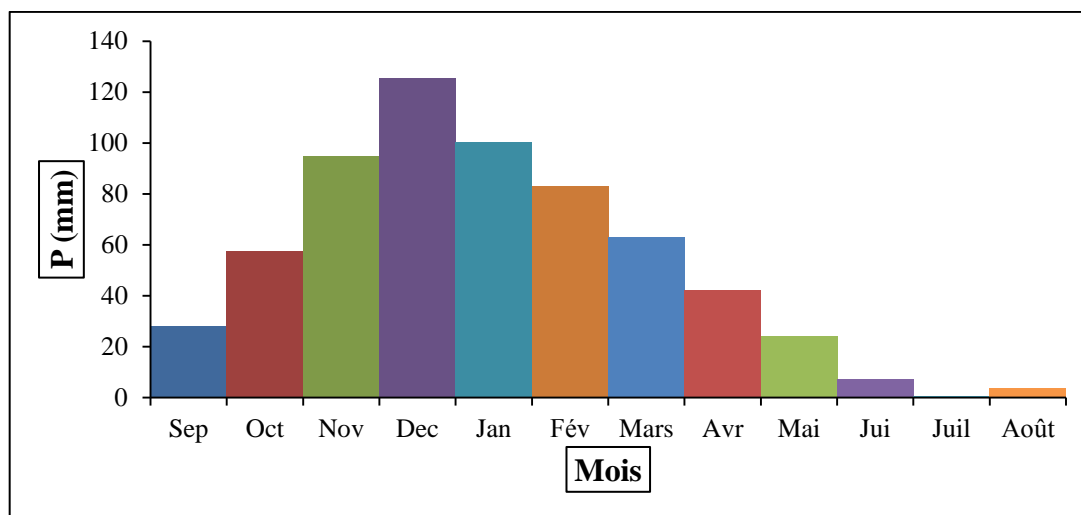
La figure 6 illustre les variations des coefficients pluviométriques (CP) dans les deux stations. Il permet de distinguer les années excédentaires et déficitaires enregistrés simultanément dans les deux stations étudiées. On observe que la variation du CP presque semblable dans les deux stations ; mais au point de vue de la valeur du CP on constate qu'il est supérieur dans la station d'Azzaba que celui de Skikda dans les années excédentaires ( $CP > 1$ ) ; par contre il est inférieur dans la station d'Azzaba que la station de Skikda dans les années déficitaires ( $CP < 1$ ).

### 2.1.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations

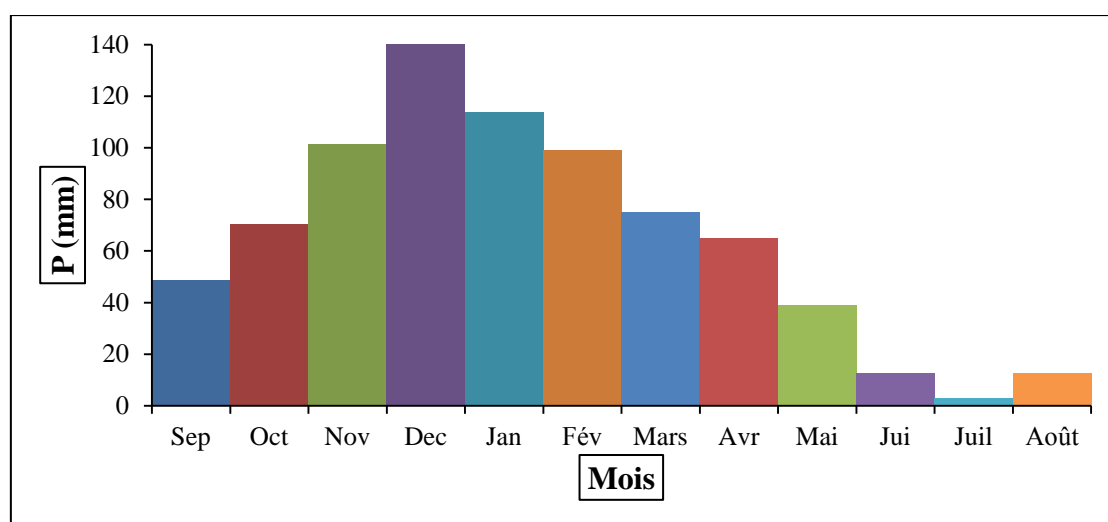
Les données des précipitations moyennes mensuelles pour les deux stations sont rapportées dans le tableau 3.

**Tableau.3: Variations moyennes mensuelles des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba et Skikda**

Mois stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Azzaba</b>	28.07	57.44	94.71	125.37	100.22	83.11	63.11	42.06	24.23	7.10	0.44	3.70
<b>Skikda</b>	48.67	70.23	101.47	146.99	113.92	98.83	74.94	64.79	38.84	12.35	2.84	12.71



**Fig.7: Histogramme de précipitation de la station d'Azzaba**



**Fig. 8 : Histogramme de précipitation de la station de Skikda**

D'après les figures 7 et 8, ci-dessus nous constatons que:

Les deux histogrammes ont la même allure, mais avec une différence de l'hauteur de précipitation entre les deux stations. Dans chaque histogramme on observe une variation de précipitation moyenne mensuelle d'un mois à l'autre.

- La hauteur pluviométrique maximale est marquée à partir du mois de Décembre avec une précipitation de 125.37 mm à la station d'Azzaba et 146.99 mm à la station de Skikda (le mois le plus pluvieux).
- Par contre la hauteur pluviométrique minimale est enregistrée au mois de Juillet avec 0.44 mm pour la station d'Azzaba et de l'ordre de 2.84 mm pour la station de Skikda (le mois le plus sec).

## 2.2. Les températures

La température est un facteur climatique très important est de grande influence sur le bilan hydrique du fait qu'il conditionne l'évaporation.

Les données de la température traitées concernent à des périodes de 28 et 30 ans pour les deux stations de surveillance d'Azzaba et Skikda respectivement.

### 2.2.1. Variations moyennes mensuelles des températures

Les valeurs de la température moyenne mensuelle sont enregistrées dans le tableau 6 pour les périodes (1980-2008) et (1980-20011) pour les deux stations respectivement d'Azzaba et de Skikda.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 21.04°C à Azzaba et de 18.57°C à Skikda.

**Tableau.4 : Températures moyennes mensuelles(C°)**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Azzaba</b>	26.66	23.17	18.32	14.90	14.71	14.61	16.87	19.12	22.41	25.13	27.87	28.80
<b>Skikda</b>	23.75	20.90	16.62	13.86	12.26	12.49	14.16	16.15	18.94	22.44	25.20	26.06

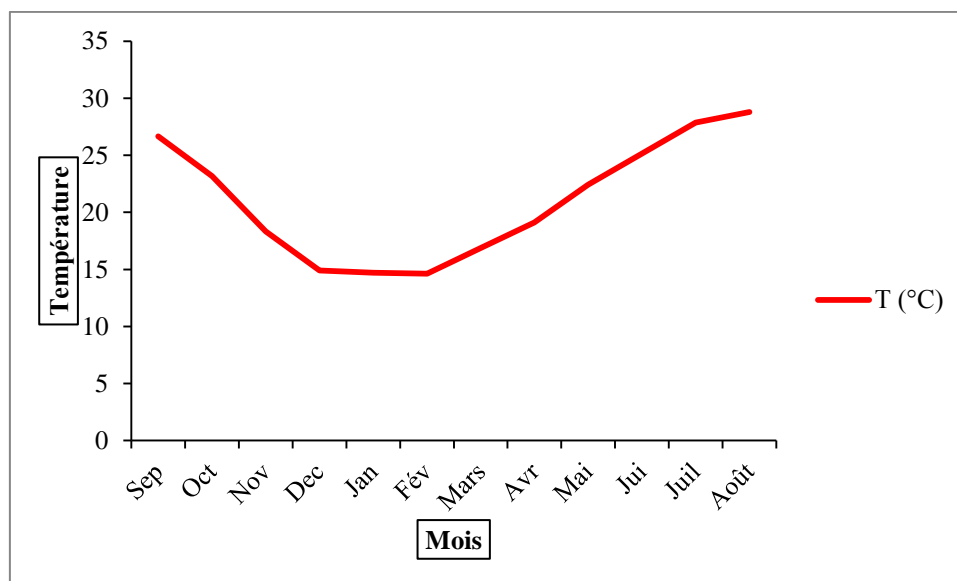
D'après le tableau 4 et les figures 9 et 10, l'allure des courbes de variation de la température moyenne mensuelle, presque la même ; avec une différence de 2 à 3°C de température entre un mois dans la station de Skikda et le même mois dans la station de Azzaba.

- Dans la station de Skikda le mois de Janvier est le plus froid, avec une valeur de l'ordre de 12.26°C. en revanche, le plus froid mois dans la station d'Azzaba est le mois de Février avec un degré de température de 14.61°C.
- Par contre, Le mois d'Août est le plus chaud au niveau des deux stations d'observation ; avec un degré de température de l'ordre de 28.80 et 26.06°C à Azzaba et Skikda respectivement.

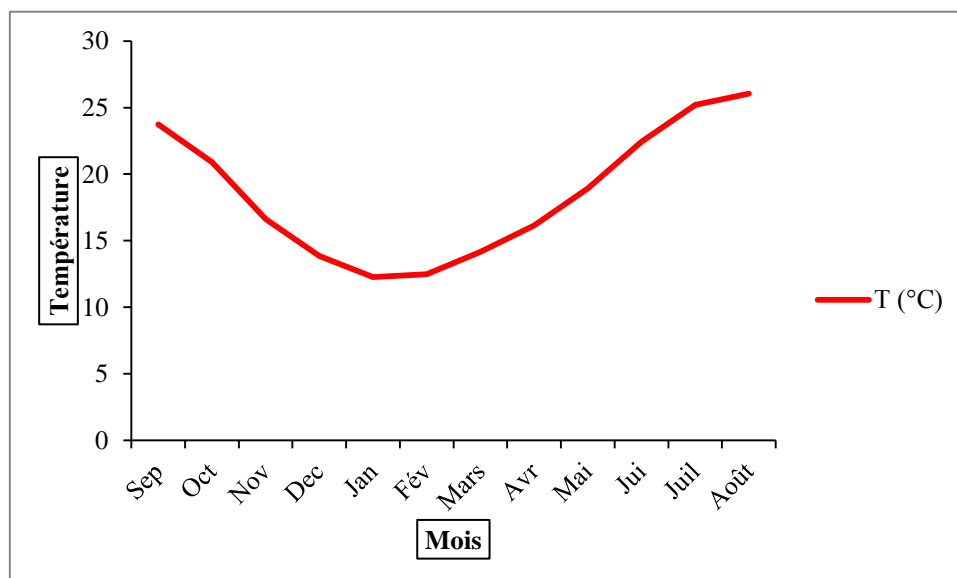
Cette variation entre les deux stations est due à la situation géographique des deux villes. L'une (Azzaba) située à l'abri des vents et exposée au soleil (entourée par les montagnes) ; et l'autre (Skikda) placée sur la côte, où elle est exposée directement au courants froids de la mer.

Les figures (9 et 10) ci-dessous montrent les variations des températures d'un mois à l'autre.





**Fig.9 : Courbe de la Température de la station d'Azzaba**



**Fig.10 : Courbe de la Température de la station de Skikda**

### 2.2.2. Courbes Ombro-thermique

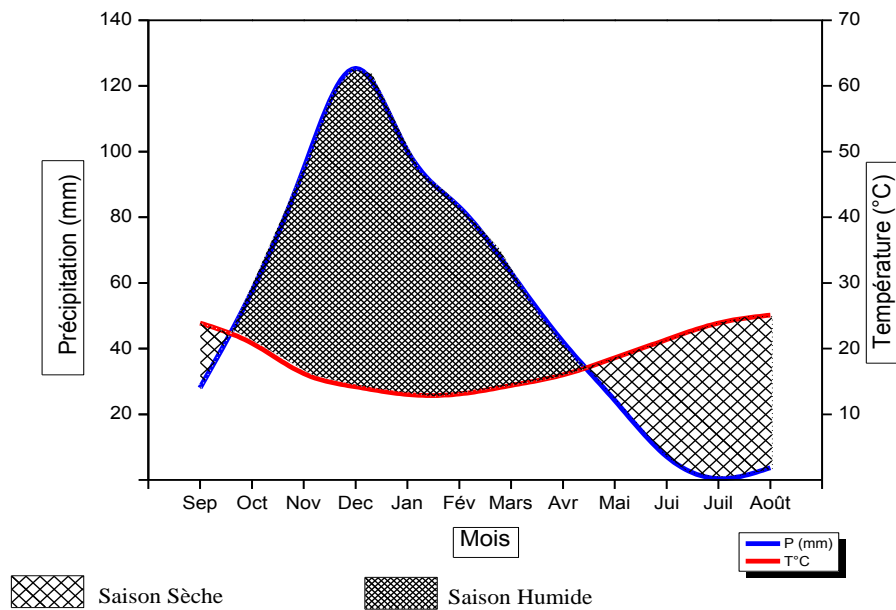
On l'appelle aussi la courbe pluviométrique. Elle est représentée graphiquement par la combinaison de deux facteurs, la température (°C) et la précipitation (mm) ; Les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations selon la définition de GAUSSEN (1958). Notons qu'une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température ( $P \leq 2T$ ).

#### 2.2.2.1. Courbe ombro-thermique "station de Azzaba"

La courbe ombro-thermique (Fig.11) présente deux (02) périodes :

- La période sèche, qui s'étale à partir de la moitié du mois d'Avril jusqu'à la fin du mois de septembre, avec un minimum de précipitation de 0.44mm (Juillet) et une température moyenne maximale de l'ordre de 28.80°C (Août).

- La période humide s'étalant de la fin du mois de septembre jusqu' à la moitié d'avril. Elle est caractérisée par un maximum de précipitation de 125.37mm enregistré au mois de Décembre, avec une température minimal de 14.61°C au mois de Février.



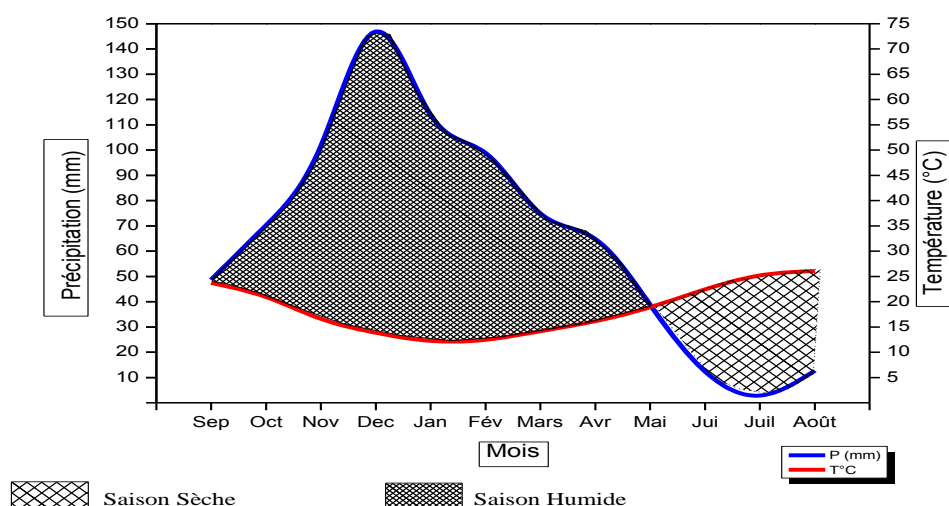
**Fig.11: Courbe ombro-thermique de la station d'Azzaba**

#### 2.2.2.2. Courbe ombro-thermique "station de Skikda"

La courbe ombro-thermique (Fig.12), montre la présence de deux saisons, l'une sèche et l'autre humide.

- La saison sèche débutant de mois de Mai jusqu'au mois de Septembre, elle est caractérisée par une précipitation moyenne minimale de 2.84mm enregistré au Juillet et une température moyenne maximale de l'ordre de 26.06 °C au mois d'Août.

- La saison humide s'étalant du début de Septembre jusqu'à la fin de Avril, avec une précipitation moyenne maximale de 146.99mm enregistrée au mois de Décembre et une température moyenne minimale de l'ordre de 12.26°C.



**Fig.12 : Courbe ombro-thermique de la station de Skikda**

### 2.3. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation, elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température elle est exprimée en %. Ce paramètre intervient comme coefficient de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50%. À la station de Skikda, les moyennes mensuelles varient de 74.55 % en hiver au mois de Janvier à 71.85 % en été au mois de Juillet avec une moyenne annuelle de l'ordre de 73.28 %. Le tableau ci-après représente les variations moyennes mensuelles d'humidité de la station de Skikda (1980/1981-2012/2013).

**Tableau.5 : Humidités relatives moyennes mensuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Skikda	73.27	72.78	72.89	73.26	74.55	73.85	73.11	73.05	74.49	73.60	71.85	72.67

En ce qui concerne les variations moyennes annuelles, on voit que le maximum d'humidité est enregistré en 1986/1987 avec 78.43 % et le minimum en 2012/2013 avec 67.40 % (tableau 6).

**Tableau.6: Humidités relatives moyennes annuelles en (%) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

Années	Humidités relatives%	Années	Humidités relatives%	Années	Humidités relatives%
<b>80/81</b>	76.84	<b>97/98</b>	70.23	<b>91/92</b>	72.86
<b>81/82</b>	75.70	<b>98/99</b>	72.77	<b>92/93</b>	71.18
<b>82/83</b>	76.97	<b>99/00</b>	72.20	<b>93/94</b>	70.31
<b>83/84</b>	77.95	<b>00/01</b>	72.70	<b>94/95</b>	70.72
<b>84/85</b>	76.08	<b>01/02</b>	75.52	<b>95/96</b>	69.17
<b>85/86</b>	77.13	<b>02/03</b>	74.74	<b>96/97</b>	69.42
<b>86/87</b>	78.43	<b>03/04</b>	76.61	<b>08/09</b>	70.70
<b>87/88</b>	76.17	<b>04/05</b>	76.61	<b>09/10</b>	68.28
<b>88/89</b>	76.80	<b>05/06</b>	73.23	<b>10/11</b>	69.03
<b>89/90</b>	75.67	<b>06/07</b>	73.14	<b>11/12</b>	69.79
<b>90/91</b>	71.90	<b>07/08</b>	73.23	<b>12/13</b>	67.40

#### 2.4. Le vent

Il représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. Sur la région d'étude dominant des vents de direction Nord-Ouest dont la vitesse est assez constante, au cours de l'année est oscillent entre 2,79 et 3,84 m/s. Le Sirocco se manifeste particulièrement aux mois de Juillet et Août mais de manière épisodiques. Le tableau suivant donne une idée sur la vitesse du vent mesurée à la station de Skikda.

**Tableau.7 : La vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) à la station de Skikda (1980/1981-2012/2013)**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Skikda</b>	2.94	3.10	3.58	3.84	3.59	3.46	3.26	3.15	2.82	2.81	2.79	2.82

La vitesse la plus forte du vent est marquée en hiver par contre la vitesse la plus faible est marquée en été.

### 3. Caractéristiques climatiques d'aridité

En 1925, une formule climatologique a été proposée par Emmanuelle DE.MARTONNE, appelée indice d'aridité, elle est en fonction de la température et de la précipitation :

$$A = P / (T + 10)$$

Avec : A : indice d'aridité annuelle.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

Selon DE.MARTONNE :

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

A partir de ces données et après les calculs les résultats sont récapitulés dans le tableau 8.

**Tableau.8 : Indice d'aridité annuelle d'après la formule de DE.MARTONNE**

Stations	Précipitation moyenne annuelle P (mm)	Température moyenne annuelle T (mm)	Indice d'aridité (A)
Azzaba	629.69	21.04	20.28
Skikda	786.58	18.57	27.53

D'après le tableau on remarque que :

Pour les deux stations Azzaba et Skikda, l'indice d'aridité (A) est situé entre 20 et 30 ( $20 > A > 30$ ), par conséquent, le climat de la région d'étude est tempéré.

### 4. Bilan hydrique

C'est l'étude qui permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes de bilan à savoir (l'évaporation, l'infiltration et l'écoulement ...). Le bilan hydrique est calculé par la méthode de THORNTHWITE .qui tient compte de la température, la précipitation, l'ETP, ETR et RFU...

Il est calculé par la formule suivant :

$$P = R + E + I$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : ruissellement de surface moyenne annuelle (mm).

E : évapotranspiration moyenne annuelle (mm).

I : infiltration moyenne annuelle (mm).

#### 4.1. Estimation des paramètres du bilan

##### 4.1.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (processus biologique).

Le terme évapotranspiration englobe deux types :

##### 4.1.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la somme des quantités d'eaux pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période donnée. En considérant des apports d'eaux suffisants. L'ETP est calculée par la formule C.W.Thornthwaite (1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 (10T / I)^a K$$

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle du mois en (mm).

T : température moyenne mensuelle de la période en (°C).

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i).

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Avec :  $i = (t/5)^{1.5}$

$$a = 0.016 I + 0.5$$

K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

**Tableau.9 : coefficients d'ajustement mensuel**

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>K</b>	1.05	<b>0.91</b>	<b>0.75</b>	<b>0.70</b>	<b>0.73</b>	<b>0.78</b>	<b>1.02</b>	<b>1.15</b>	<b>1.32</b>	<b>1.33</b>	<b>1.33</b>	<b>1.24</b>

##### 4.1.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR)

On appelle aussi l'évapotranspiration effective, c'est la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie. L'ETR représente la quantité de vapeur effectivement exportée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux.

La formule de Turc (1954), qui permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie et de la température moyenne annuelle, dont l'expression suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec : ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

t : température moyenne annuelle en (°C).

#### 4.1.2. Déficit agricole (DA)

La différence entre l'évapotranspiration potentielle (ETP), et l'évapotranspiration réelle (ETR) ainsi calculée constitue le déficit d'eau, car il représente la quantité d'eau supplémentaire qui aurait pu être utilisée par les plantes et le sol si la disponibilité en eau avait pu être artificiellement complétée par un système d'irrigation.

#### 4.2. Expression du Bilan Hydrique

En admettant que la répartition de la hauteur des précipitations sur le sol se divise en trois fractions : Le ruissellement de surface (R), l'infiltration (I) et l'évapotranspiration réelle (ETR) d'où:

$$P = ETR + I + R$$

#### 4.3. Méthode du bilan hydrique

Le bilan hydrique permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations et permet de caractériser un sol au point de vue sécheresse ou d'humidité.

L'étude du bilan hydrique portant sur une période plus ou moins longue, permet d'esquisser plusieurs caractéristiques de l'écoulement.

##### 1. P > ETP

- a. L'évapotranspiration réelle (ETR) est égale à l'évapotranspiration potentielle (ETP).
- b. L'excédent (EX) des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle est emmagasiné dans l'humidité du sol, dont il augmente les réserves jusqu'à ce que dernier soit saturé. THORNTHWAITE admet que la saturation est atteinte lorsque les réserves supplémentaires cumulées atteignent 100mm d'eau mais ce chiffre doit être adapté à chaque cas particulier.

c. La partie de l'excédent dépasse éventuellement les réserves cumulées 100 mm et se trouvent disponibles pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes (ruissellement et infiltration).

## 2. $P < ETP$

Si les précipitations ( $P$ ) est inférieures à l'évapotranspiration potentielle ( $ETP$ ), l'évapotranspiration réelle est la somme des précipitations du mois et de tout ou d'une partie de la réserve d'eau du sol, celle-ci est supposée comme suite :

a. Si les réserves antérieures d'humidité du sol sont assez fortes pour combler l'insuffisance des précipitations ( $P$ ) est encore égale à l' $ETP$ . Les réserves du sol sont alors réduites de la différence entre l' $ETP$  et  $P$  du mois considéré.

b. Si La réserve d'humidité des sols est insuffisante pour satisfaire l' $ETP$ , l' $ETR$  reste inférieure celle-ci est égale à la somme de précipitations du mois et des réserves disponibles.

## 4.4. Le ruissellement ( $R$ )

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration. Le ruissellement est calculé par La formule de TIXERON-BERKALOFF :

$$R = P^3/3ETP^2 \quad \text{Si : } P < 600 \text{ mm}$$

Avec :  $R$  : ruissellement en (mm).

$P$  : précipitation moyenne annuelle en (mm).

$ETP$  : évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

La formule de TEXERON-BERKALOFF modifiée par ROMANTCHOOK :

$$R = P^3/3 \quad \text{Si : } P > 600 \text{ mm}$$

## 4.5. Infiltration ( $I$ )

L'infiltration est calculée à partir du bilan hydrique en remplaçant chacun des termes par sa valeur trouvée :

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

**Tableau.10 : Tableau récapitulatif des termes du bilan hydrique des deux stations**

paramètres Station	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Azzaba	629.6	432.8	83.19	113.61
Skikda	786.6	507.1	162.23	117.27



#### 4.6. Interprétation du bilan hydrique

##### A / Station de Azzaba

Nous constatons qu'à partir du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars les précipitations deviennent supérieures à ETP ce qui permet la reconstitution de la R.F.U. qui est à son maximum (100mm) au mois de Décembre –Janvier –Février et Mars, ce qui donne un excédent de 49 mm en Décembre, 72.6 mm en Janvier, 56.5mm en Février et 18.7 mm en Mars. Le déficit agricole débute à partir du mois de Juin jusqu'à Octobre et atteint son maximum au mois de juillet avec une valeur de 163.4mm. La période déficitaire en eau commence à partir du mois de juin et se termine au mois d'Octobre, et la période excédentaire débute au mois de Décembre jusqu'au mois de Mars (figure.11 et 12).

**Tableau.11: Bilan hydrique pour la station de Azzaba d'après la méthode de C.W.**

##### Thornthwaite

Période	T <sub>p</sub> (°C)	i	K	ETP <sub>C</sub> (mm)	Pr (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	26,7	12,6	1,03	123,3	28,1	0,0	28,1	95,2	0,0
O	23,2	10,2	0,97	84,9	57,4	0,0	57,4	27,5	0,0
N	18,3	7,1	0,86	44,6	94,7	50,1	44,6	0,0	0,0
D	14,9	5,2	0,81	26,5	125,4	100,0	26,5	0,0	49,0
J	14,7	5,1	0,87	27,6	100,2	100,0	27,6	0,0	72,6
F	14,6	5,1	0,85	26,6	83,1	100,0	26,6	0,0	56,5
M	16,9	6,3	1,03	44,4	63,1	100,0	44,4	0,0	18,7
A	19,1	7,6	1,10	62,7	42,1	79,3	62,7	0,0	0,0
M	22,4	9,7	1,21	98,3	24,2	5,2	98,3	0,0	0,0
J	25,1	11,5	1,22	128,0	7,1	0,0	12,3	115,7	0,0
J	27,9	13,5	1,24	163,9	0,4	0,0	0,4	163,4	0,0
A	28,8	14,2	1,16	164,9	3,7	0,0	3,7	161,2	0,0
Année	21,0	108,1	-	995,8	629,6	-	432,8	563,0	196,8

**Pr**: précipitation moyenne annuelle (mm).

**i** : indice thermique mensuelle.

**K** : coefficient de latitude.

**ETP<sub>C</sub>** : Evapotranspiration potentielle (mm).

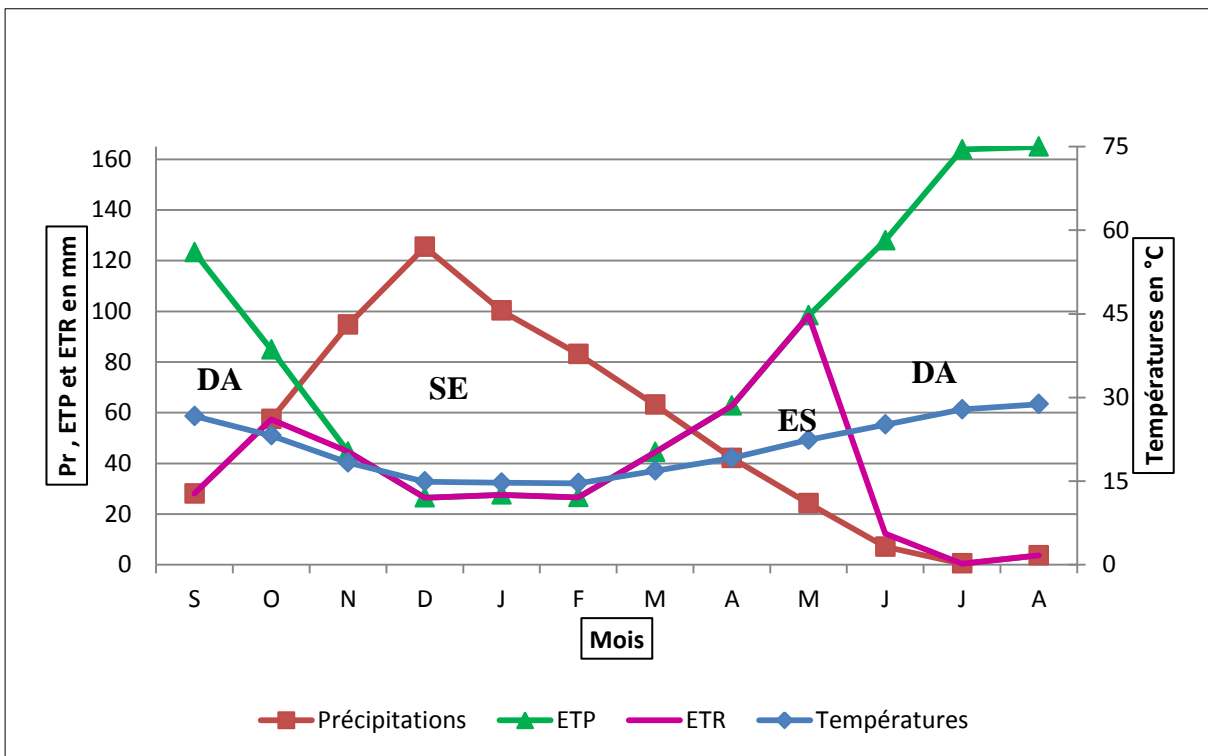
**ETR** : Evapotranspiration réelle (mm).

**RFU** : réserve facilement utilisable.

**EXC** : Excédent.

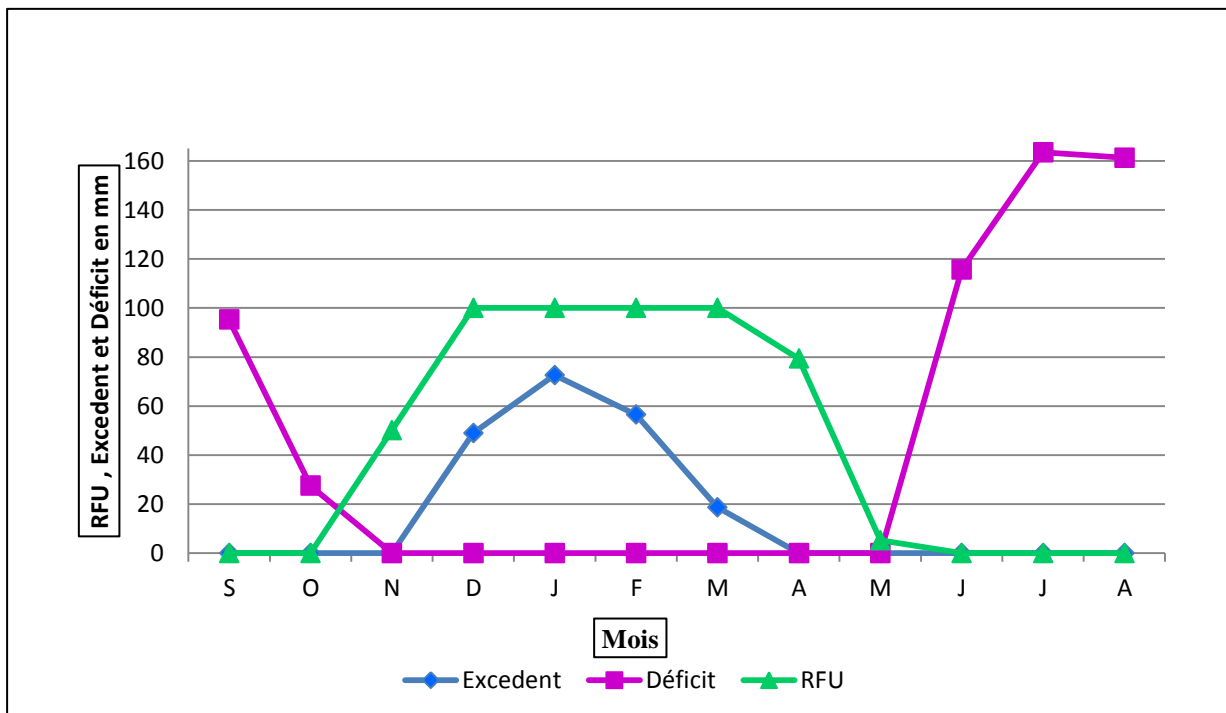
**DEF** : Déficit agricole.

**a** : 1.88



SE : Surplus d'eau                      DA : Déficit agricole                      ES : Epuisement du stock

**Fig.13 : Représentation graphique du bilan hydrique (P, T, ETP et ETR)  
Station de Azzaba**



**Fig.14 Représentation graphique du bilan hydrique (RFU, EXC et DEF)  
Station de Azzaba**

**B / Station de Skikda**

L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois de Juillet (146.4mm) et son minimum au mois de Janvier (25.5mm). La reconstitution de la R.F.U. s'effectue au mois de Novembre, et est à son maximum au mois de Novembre jusqu'au mois de Mai (100mm). A partir du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril, nous avons une période excédentaire qui correspond à la période de la reconstitution de la réserve. L'épuisement du stock commence au mois de Juin et se termine au mois d'Août avec un déficit agricole maximum de 133.5mm. L'écoulement commence en Décembre et se termine au mois d'Avril avec un total de 279.5mm (excédent).

**Tableau.12 : Bilan hydrique pour la station de Skikda d'après la méthode de C.W. Thornthwaite**

Période	T <sub>p</sub> (°C)	i	K	ETP <sub>C</sub> (mm)	Pr (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	23,8	10,6	1,03	108,4	48,7	0,0	48,7	59,8	0,0
O	20,9	8,7	0,97	79,7	70,2	0,0	70,2	9,5	0,0
N	16,6	6,2	0,86	45,4	101,5	56,1	45,4	0,0	0,0
D	13,9	4,7	0,81	30,1	147,0	100,0	30,1	0,0	73,0
J	12,3	3,9	0,87	25,5	113,9	100,0	25,5	0,0	88,5
F	12,5	4,0	0,85	25,8	98,8	100,0	25,8	0,0	73,0
M	14,2	4,8	1,03	39,8	74,9	100,0	39,8	0,0	35,1
A	16,2	5,9	1,10	54,9	64,8	100,0	54,9	0,0	9,9
M	18,9	7,5	1,21	82,2	38,8	56,6	82,2	0,0	0,0
J	22,4	9,7	1,22	115,1	12,4	0,0	69,0	46,1	0,0
J	25,2	11,6	1,24	146,4	2,8	0,0	2,8	143,6	0,0
A	26,1	12,2	1,16	146,2	12,7	0,0	12,7	133,5	0,0
Année	18,6	89,7	-	899,5	786,6	-	507,1	392,4	279,5

**Pr**: précipitation moyenne annuelle (mm).

**i** : indice thermique mensuelle.

**K** : coefficient de latitude.

**ETP<sub>C</sub>** : Evapotranspiration potentielle (mm).

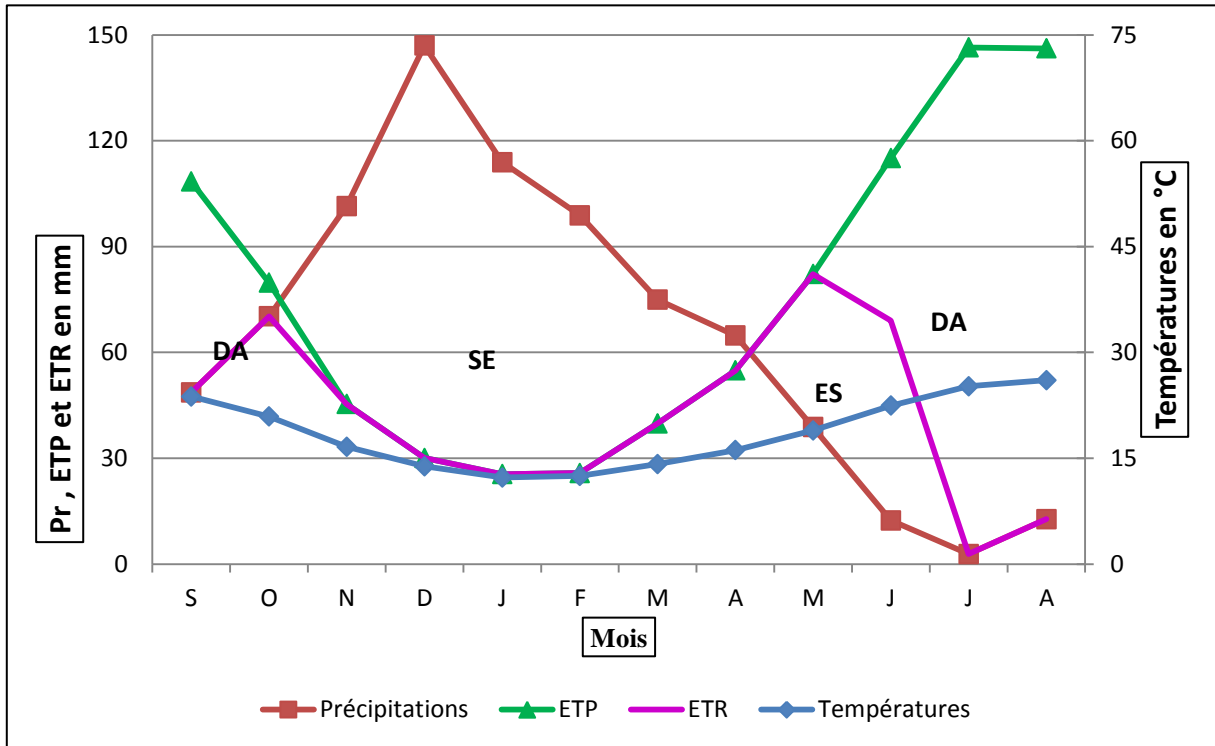
**ETR** : Evapotranspiration réelle (mm).

**RFU** : réserve facilement utilisable.

**EXC** : Excédent.

**DEF** : Déficit agricole.

**a** : 1.88

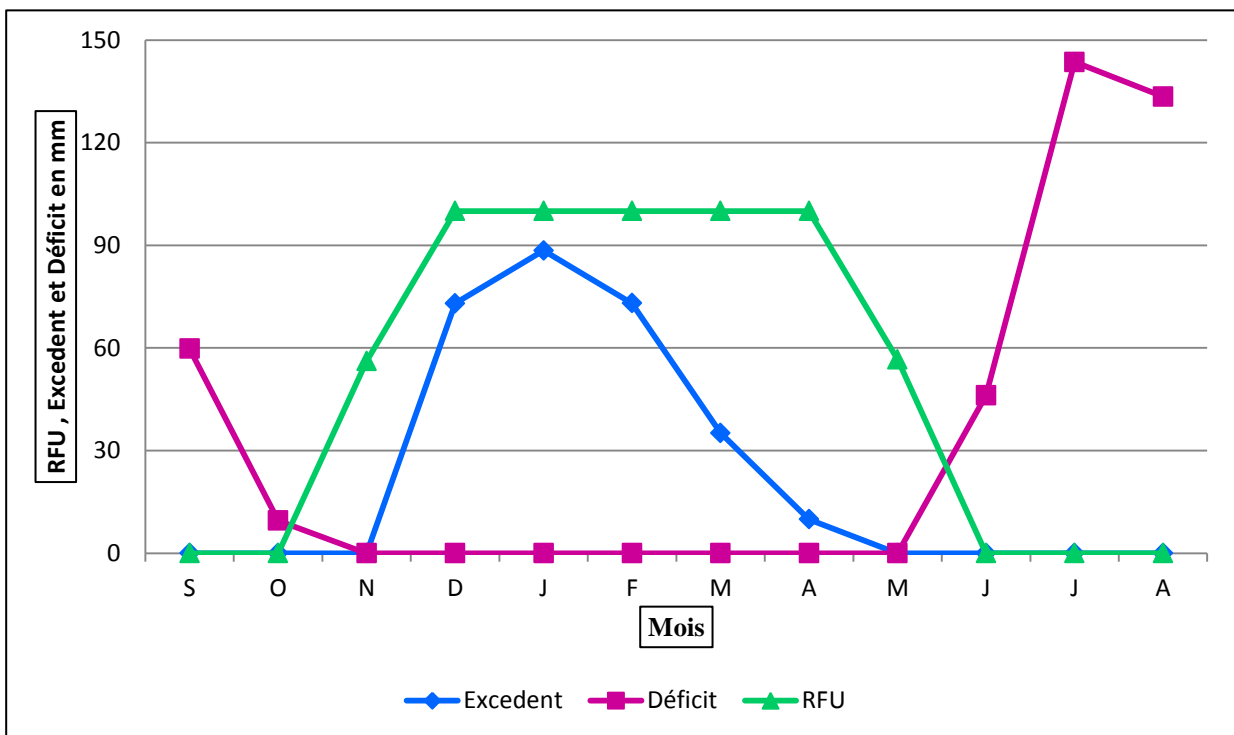


SE : Surplus d'eau

DA : Déficit agricole

ES : Epuisement du stock

**Fig.15 : Représentation graphique du bilan hydrique (P, T, ETP, et ETR)  
(Station de Skikda)**



**Fig.16 : Représentation graphique du bilan hydrique (RFU, EXC et DEF)  
Station de Skikda**

## 5. Conclusion

L'ensemble des données climatiques permet d'attribuer à la région d'Azzaba un climat tempéré méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide et pluvieuse, s'étalant de la fin du mois de septembre jusqu' à la moitié d'avril. L'autre sèche et chaude, s'étale à partir de la moitié du mois d'Avril jusqu'à la fin du mois de septembre.

La formule du bilan de Thornthwaite, permet l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration ETR (432.8 mm pour la station d'Azzaba, et 507.1mm pour la station de Skikda). En conséquence malgré que la région soit bien arrosée par rapport au reste du pays, on observe quand même un déficit agricole (563.0mm pour la station d'Azzaba et 392.4 mm pour la station de Skikda), alors que la recharge interannuelle est relativement faible. Cependant en période humide on a remarqué que les averses sont soudaines et fortes mais qu'elles durent peu de temps.

# CHAPTER IV

## CHAPITRE IV: Cadre Hydro chimique

### 1. Introduction

Toute étude hydrogéologique doit être complétée par une étude chimique qui permet de fournir de précieux renseignements, concernant les eaux de surfaces, d'établir la relation géologie-chimie et de déterminer les différentes familles (faciès chimique des eaux).

L'interprétation des analyses, a pour but de déterminer le faciès chimique, la qualité des eaux et leurs potabilités et l'établissement de la genèse ainsi que l'origine des éléments chimique.

### 2. Etude du chimisme des eaux

Les points étudiés ont été choisis le long d'oued Fendek soient représentés.

Parmi les paramètres physico-chimiques généralement étudiés on a mesuré :

Les paramètres physiques représentant la température(T), Potentiel Hydrique(PH), total des solides dissous(TDS) et la conductivité électrique (CE).

#### 2.1. Echantillonnage et point de prélèvement

Les prélèvements dans les eaux superficielles, ont concerné six (6) points dans les Oueds de Fendek et Zabda, ont été effectués en mai 2018.

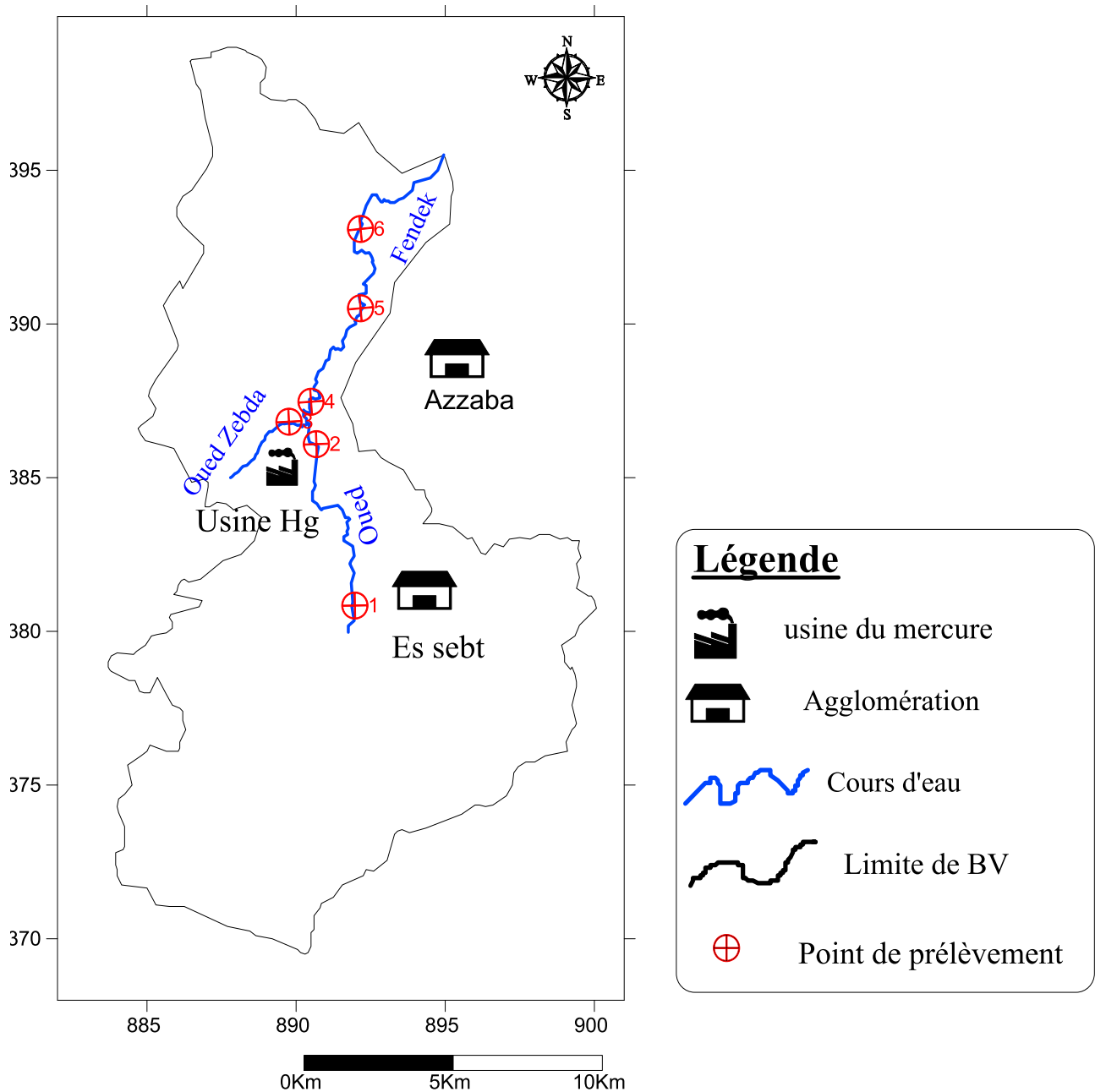
##### 2.1.1. Mode d'échantillonnage

Le prélèvement des échantillons d'eau a été effectué selon la méthode conventionnelle de prélèvement dans les cours d'eau à faible profondeur et vitesse, ainsi l'accessibilité du site. On est placé au centre de la lame d'eau, face au courant et nous remplissons les bouteilles jusqu'au débordement avant de les fermer sous l'eau à la main, pour éviter toute réaction de l'eau avec l'air. Les échantillons a été libellés et numérotés selon le site de prélèvement sur le long des oueds (Fendek et Zabda).

Les coordonnées Lambert des points de prélèvements et leurs désignations, sont figurés dans le tableau 13 et la figure 17.

**Tableau.13 : Coordonnées des points de prélèvement**

N°	Désigne	X	Y
1	Essebt	891,97	380,84
2	O.F.amont	890,68	386,09
3	O. Zebda	889,76	386,82
4	O.Confluence	890,5	387,47
5	O.F.centre	892,16	390,51
6	O.F.aval	892,16	393,09



**Fig.17: Carte d'inventaire des points de prélèvement**

## 2.2. Mode opératoire

### 2.2.1. Mesure in situ

Afin de mesurer les paramètres physiques, nous utilisons un appareil multiparamétrique, Cet appareil qui s'appel **Combo pH & EC Waterproff** de Hanna, ce dernier est un appareil de mesure digital de poche pour mettre sous monitoring le PH, CE, TDS et la température de manière précise.



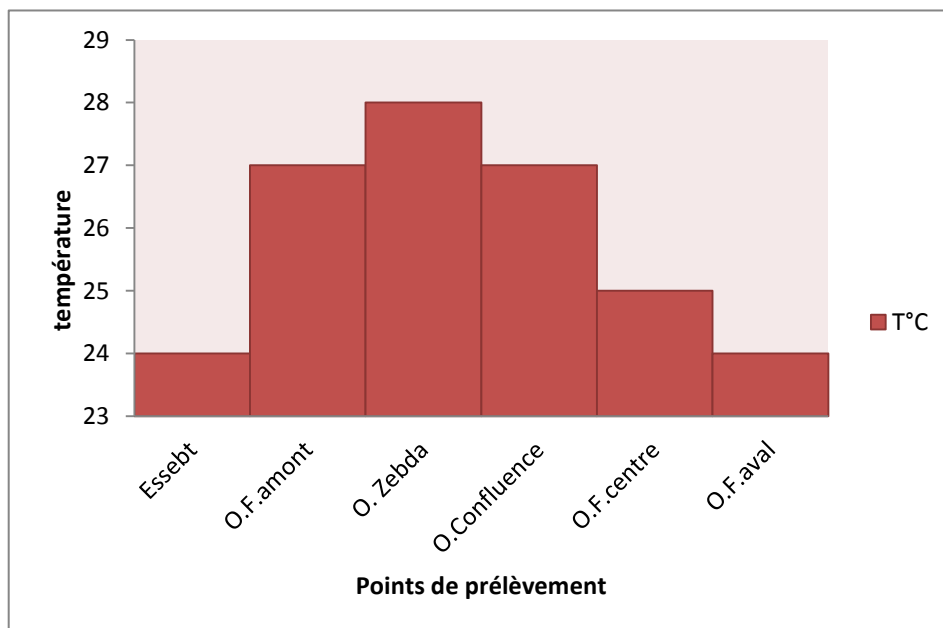
### 2.2.2. Mesure au laboratoire

Dans le laboratoire de la biologie de l'université de Jijel, on a effectué les analyses des Eléments en Trace Métallique (ETM) à savoir le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu) et le Cadmium (Cd) ; à l'aide de l'appareil de spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

## 2.3. Résultats et discussion

### 2.3.1. La température

Ensemble des conditions atmosphériques, variables, traduites subjectivement en sensations relatives de chaud et de froid, et dont l'appréciation exacte est fournie par le thermomètre.



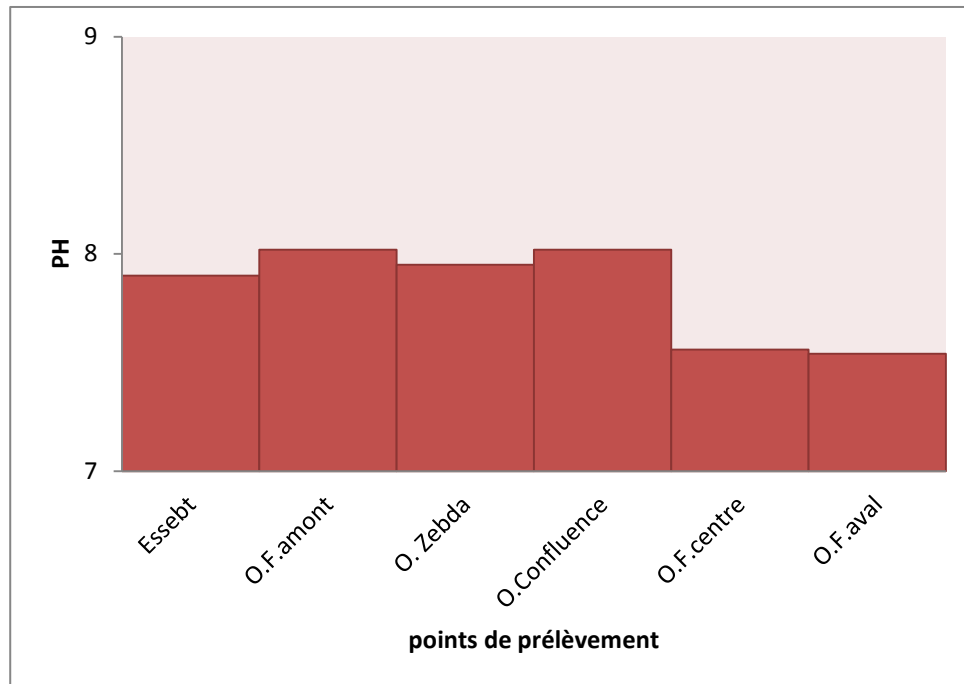
**Fig.18: Histogramme de variation de la température**

La figure 18 montre une variation de la température dans les points de prélèvement, dont la forme de la courbe est en cloche, où la plus grande valeur de la température est marquée dans Oued Zebda (28°C) ; conséquent de la durée d'exposition de la lame d'eau au soleil, puisque l'oued Zebda est de faible débit (vitesse). En revanche, les plus faibles valeurs ont été mesurées dans l'amont d'Oued Fendek (Essebdt) et l'aval d'Oued Fendek, avec de température de 24°C.

On note que la norme de l'OMS en 2017, concernant la température est limitée à 25°C.

### 2.3.2. Potentiel d'Hydrogène (PH):

Le Potentiel d'Hydrogène est un indice permettant de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. C'est un indicateur de l'acidité (pH inférieur à 7) ou de l'alcalinité (pH supérieur à 7) d'une solution.



**Fig.19: Histogramme de variation du PH**

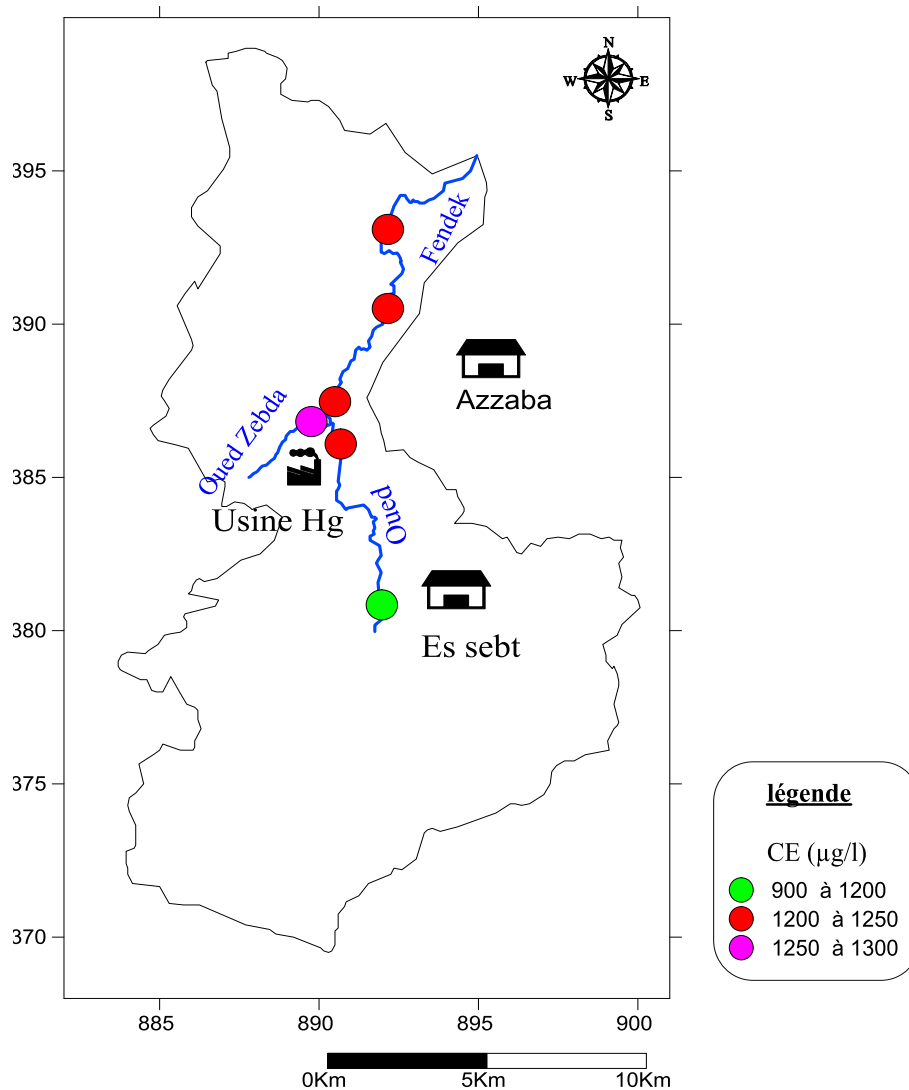
Les valeurs du Ph dans tous les points de prélèvement, sont rentrent dans la fourchette des normes de l’OMS 2017, qui est  $6.5 > Ph > 8.5$ .

Les valeurs du Ph mesurées dans la zone d’étude, variées entre 7.54 et 8.02, elles ont restent faible (figure 19).

### **2.3.3. La Conductivité Electrique (CE) :**

La conductivité électrique est la capacité d’un matériau à laisser passer et conduire le courant électrique, comme la plupart des métaux et les solutions chargées en ions.

La conductivité donne une estimation de la minéralisation de l’eau ou de sa concentration.



**Fig.20: Carte de variation de la conductivité électrique (CE)**

Dans la carte de variation de la conductivité électrique (figure 20), les valeurs restent augmentées tout en descentes vers le nord d'Oued Fendek.

Les données de ce paramètre nous a permis de distinct trois (03) classes, vue la norme de l'OMS (2017), qui est de  $1200 \mu\text{s}/\text{cm}$ .

La première classe renferme les points qui ont une valeur entre 900 et  $1200 \mu\text{s}/\text{cm}$ , elle contienne un seul point (Essebt) de bonne qualité.

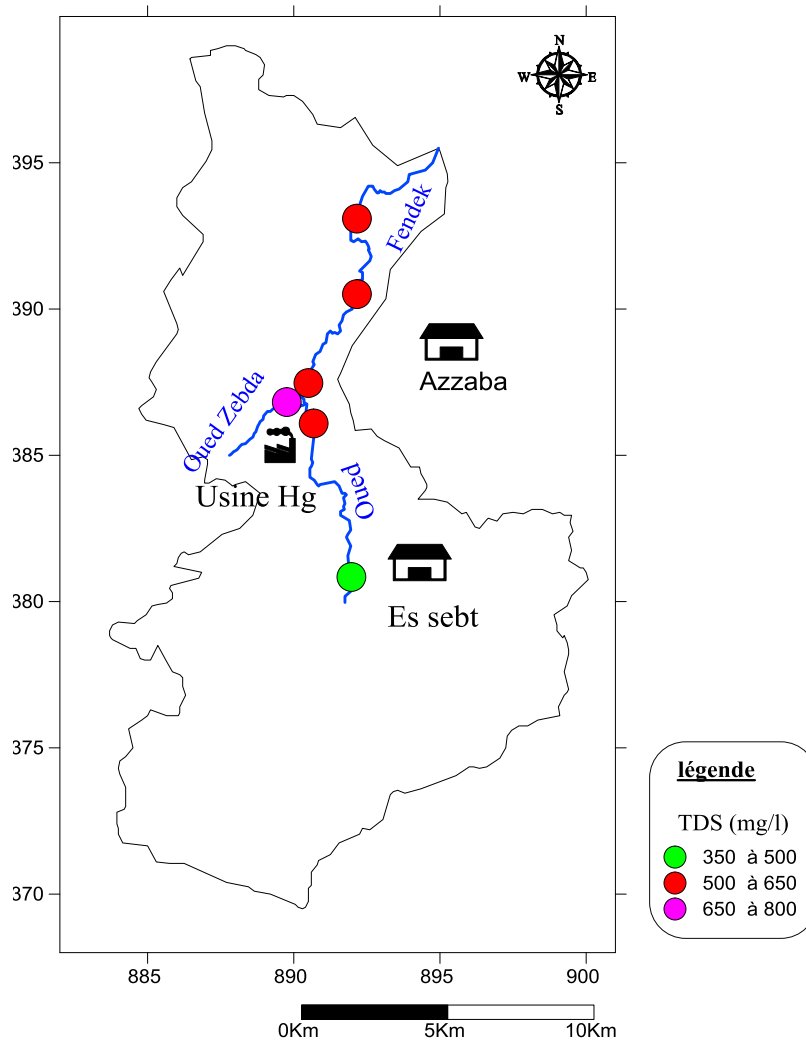
Une deuxième classe, a des valeurs variées entre 1200 et  $1250 \mu\text{s}/\text{cm}$  ; cette dernière comprendre tous les points situés à l'aval du premier point (Es sebt) sur le long d'Oued Fendek ; avec des valeurs de 1207 à  $1240 \mu\text{s}/\text{cm}$ .

La classe dernière, compte un seul point (Oued Zebda) qui dépasse de loin les normes de l'OMS. Elle a une mauvaise qualité c-à-d très conductrice.

Cette détérioration de la qualité résulte sans doute, des rejets industriels de l'ancienne usine du mercure installée au voisinage de l'Oued Zebda, et des rejets domestiques dans l'Oued Fendek par les villages implantés sur les deux rives de l'Oued (Es sebt et Azzaba).

#### 2.3.4. Le total des solides dissous (TDS)

Le TDS représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent les cations et les anions.



**Fig.21: Carte de variation du total des solides dissous (TDS)**

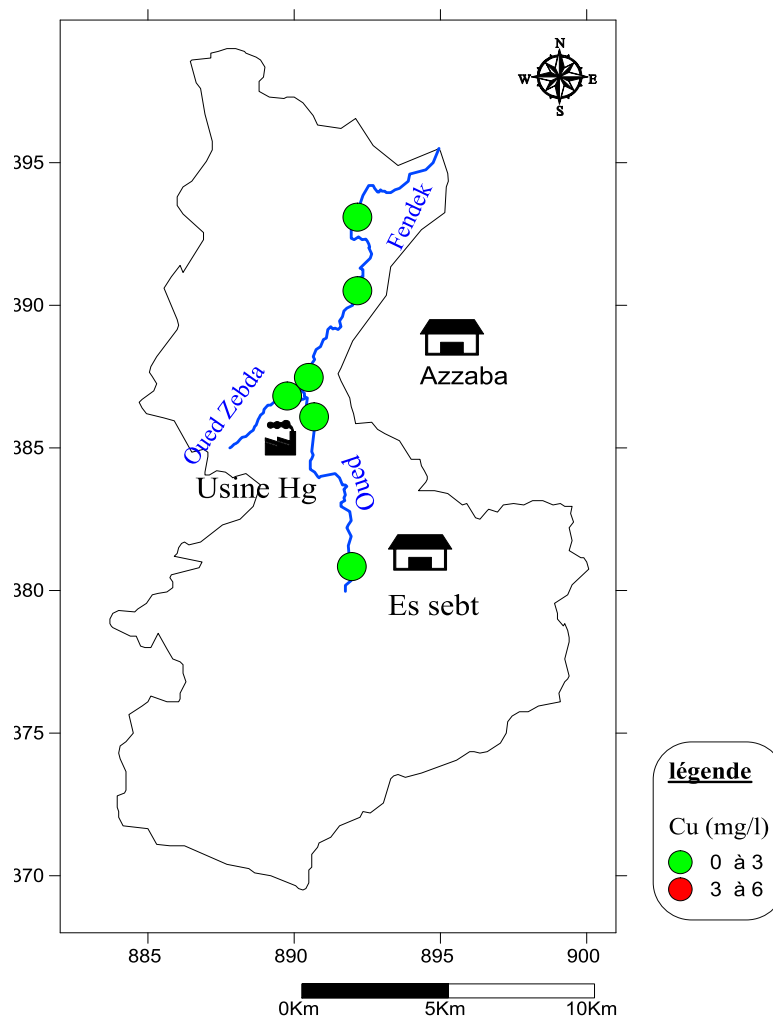
Les variations du TDS dans les eaux de l'Oued Fendek et Zebda (figure 21), montrent comme dans la carte de variation de CE (figure N°21), les valeurs minimales enregistrées dans le premier point (Es sebt) où elles sont inférieures aux normes OMS (500 mg/l). Les autres points appartiennent à la classe moyenne (550 à 650 mg/l), sauf le point de l'Oued Zebda qui se caractérise par une valeur dépassant 650 mg/l, ce qui le place dans la catégorie de mauvaise qualité.

Certain solides dissous provient de sources organiques comme les feuilles, vase, plancton et déchets industriels et eaux usées; ou inorganiques matériaux, comme les roches et l'air peut être contient les bicarbonates de calcium, nitrogène, sulfure et d'autre minéraux. Plusieurs de ces minéraux forment des sels.

### 2.3.5. Le Cuivre ( $\text{Cu}^{2+}$ )

Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés.

Une phase minérale argileuse pouvait servir de stock au Cuivre dans des sols non calcaires. Dans des sols calcaires, l'adsorption spécifique du cuivre sur des surfaces de  $\text{CaCO}_3$  peut contrôler les concentrations en cuivre en solution (Cavallaro et McBride, 1978 ; Dudley *et al.*, 1991).



**Fig.22: Carte de variation du Cuivre ( $\text{Cu}^{+2}$ )**

Les teneurs de cuivre dans les eaux de surface de la zone d'étude (figure 22), sont très petites par rapport aux normes (OMS 2017) (3mg/l). Les concentrations du cuivre se diminues lorsqu'on descend vers le nord, sur le long d'Oued Fendek jusqu'au la convergence avec Oued Zebda, cette convergence diluée les concentrations plus ou moins élevées d'Oued Zebda.

Les concentrations du cuivre dans Oued Fendek issues essentiellement de la dissolution des formations géologique à l'amont de l'Oued et les rejets domestiques à l'aval ; par contre dans Oued Zebda leur origine probablement provient de rejet fossile de l'usine du mercure.

### **Impact du Cuivre sur l'environnement**

Les fleuves déposent sur leur rives des boues contaminées par du cuivre, du fait du rejet d'eaux usées. Le cuivre pénètre dans l'air principalement lors de la combustion de combustibles fossiles. Il reste dans l'air pendant une période assez longue avant de se déposer lorsqu'il pleut. Il se retrouve alors essentiellement dans le sol. Par conséquent, les sols peuvent contenir une grande quantité de cuivre après que le cuivre de l'air se soit déposé.

Le cuivre peut être relâché dans l'environnement par des sources naturelles et par les activités humaines (l'exploitation minière, la production de métaux, la production de bois et la production de fertilisants aux phosphates).

Quand le cuivre se retrouve dans le sol, il se lie fortement aux matières organiques et aux minéraux. Par conséquent, il ne voyage pas très loin et il ne pénètre presque jamais dans les eaux souterraines.

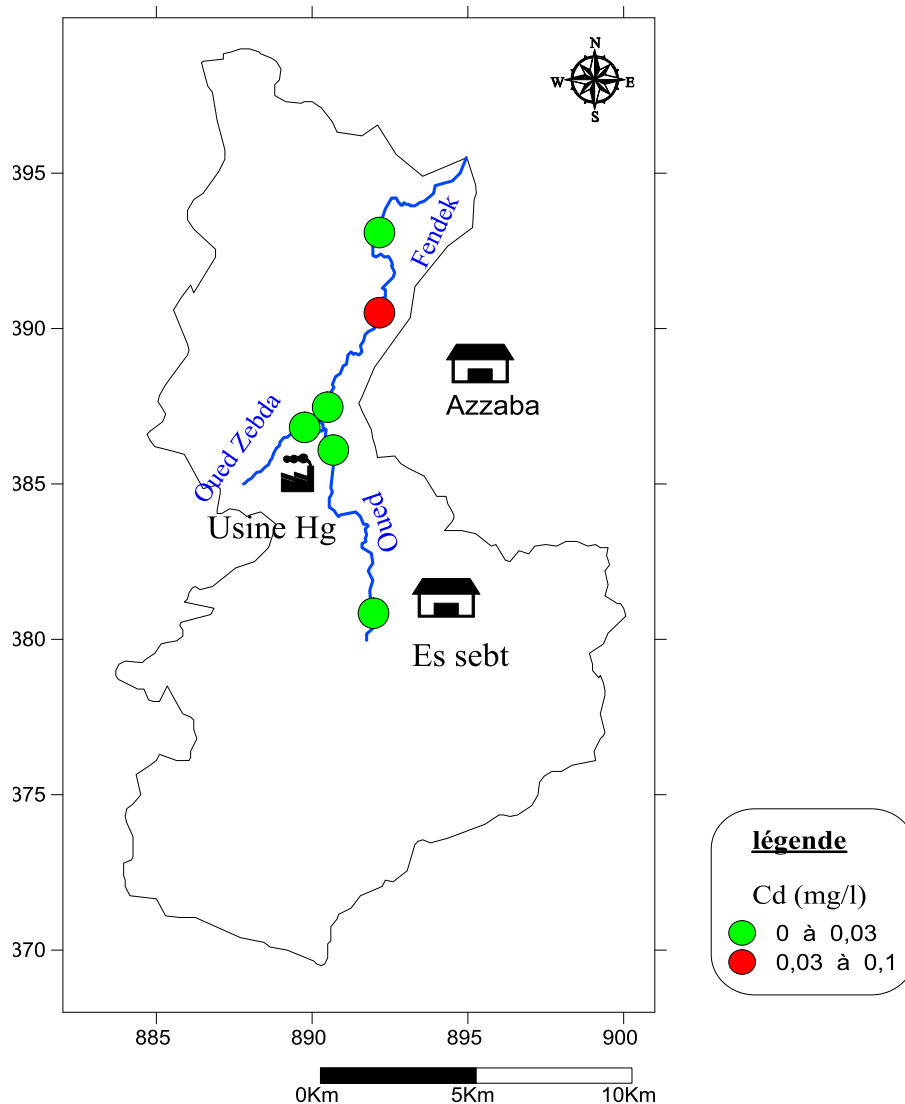
Le cuivre ne se détruit pas dans l'environnement et, de ce fait, il peut s'accumuler dans les plantes et les animaux quand il est présent dans le sol. Sur les sols riches en cuivre, seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi, il n'y a pas beaucoup de diversité de plantes près des industries rejetant du cuivre. Du fait des effets sur les plantes, le cuivre est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles. Le cuivre peut sérieusement influencer ce qui se passe sur les terres agricoles, suivant l'acidité du sol et la présence de matière organique. Le cuivre peut interrompre l'activité du sol, car il influence de façon négative l'activité des micro-organismes et des vers de terre. La décomposition de la matière organique est sérieusement ralentie de ce fait. Quand le sol des terres agricoles est pollué par du cuivre, les animaux absorbent des concentrations importantes leur causant des problèmes de santé.

### **2. 3.6. Le Cadmium (Cd)**

Le cadmium serait présent dans toutes les roches, mais de façon prépondérante dans les roches sédimentaires et plus particulièrement dans celles riches en carbone, sulfures et phosphates (Baize, 1997).

Le cadmium est un élément assez rare. Il est réparti uniformément dans la croûte terrestre, où sa concentration moyenne serait de 0,15 à 0,2 mg/kg. Il est toujours présent en combinaison avec du zinc avec une proportion peut varier considérablement dans la plupart des minéraux et des sols. Dans la nature, on le trouve sous forme de divers composés minéraux.

Dans les eaux naturelles l'ion  $\text{Cd}^{2+}$  prédomine à un  $\text{pH} < 8$ ,  $\text{CdCO}_3$  est prédominant entre les  $\text{pH}$  de 8 à 10 (Hem, 1972) par l'équation :  $\text{CdS} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Cd}^{2+} + \text{HS}^-$



**Fig.23: Carte de variation du Cadmium (Cd)**

Les concentrations du Cadmium dans les eaux de surface du sous bassin d'Oued Fendek, sont inférieures aux normes (OMS 2017) limitée à un seuil de  $3\mu\text{g/l}$  ( $0.03\text{ mg/l}$ ) ; sauf le point 5 (O.F. centre) où la concentration a été franchi la barre de l'OMS.

Cette quantité de concentration provienne d'une part des produits fertilisant appliqués sur les terres agricoles au voisinage d'Oued Fendek, et d'autre part, des rejets de déchets ou d'eaux usées provenant des particuliers ou des industries.

### **Impact du Cadmium sur l'environnement :**

On peut trouver principalement le cadmium dans la croûte terrestre. Il est toujours présent en combinaison avec du zinc. Il est présent aussi dans l'industrie comme sous-produit inévitable de

l'extraction du zinc, du plomb et du cuivre. On le trouve dans les pesticides et les engrais, il peut donc pénétrer dans l'environnement par le sol.

L'absorption de cadmium se fait essentiellement par la nourriture. Les aliments qui sont riches en cadmium peuvent augmenter de façon importante les concentrations en cadmium du corps humains. On peut citer quelques exemples d'aliments riches en cadmium: le foie, les champignons, les mollusques....

Une grande quantité de cadmium est libérée dans l'environnement de façon naturelle. Environ la moitié de ce cadmium est libéré dans les rivières lors de l'usure de la roche, est libéré dans l'air lors des feux de forêts et par les volcans. Le reste du cadmium relâché provient des activités humaines. Une autre source importante d'émission de cadmium est la production de fertilisants non naturels à base de phosphate. Une partie du cadmium se retrouve dans le sol après que le fertilisant ait été appliqué sur les terres agricoles et le reste du cadmium se retrouvent dans les eaux de surface quand les déchets provenant de la production des fertilisants sont rejetés par les entreprises de production. Le cadmium peut être transporté sur de longues distances lorsqu'il est absorbé par les boues. Ces boues riches en cadmium peuvent polluées aussi bien les eaux de surface que les sols.

Le cadmium est fortement absorbé par les matières organiques dans les sols. Quand le cadmium est présent dans les sols cela peut être extrêmement dangereux, car la consommation par l'intermédiaire de la nourriture va augmenter.

### 2.3.7. Le Zinc (Zn)

Le zinc est un élément chimique, de symbole Zn et de numéro atomique 30. Le zinc est un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène (Mahan, 1987).

Les sources naturelles de zinc dans l'environnement sont l'altération de roches (56%), le volcanisme (22%) et la végétation (Lantzy et Mc Kenzie, 1979 ; Phelan *et al.*, 1982 ; Horowitz, 1985).

Le zinc est rencontré, le plus souvent en association avec le plomb, le cuivre, l'or et l'argent. Le zinc se présente sous forme de sphalérite (sulfure), smithsonite (carbonate), calamine (silicate), et franklinite (zinc, manganèse, oxyde de fer).

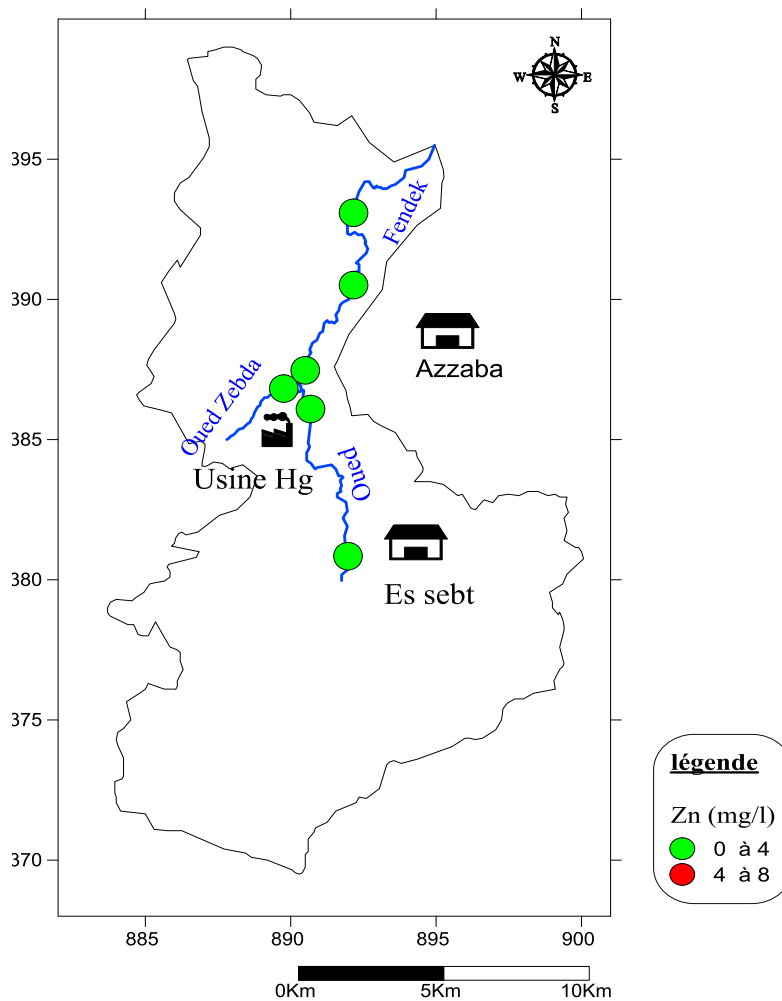
La solubilité du zinc dans l'eau est une fonction de pH et les Concentrations totales du carbone inorganique; La solubilité de carbonate de zinc de base diminue avec l'augmentation de Ph et les concentrations d'espèce de carbonate.



Le cation libre  $Zn^{2+}$  prévaut dans les eaux de surface pour les conditions environnementales de  $pH < 8$ , tandis que l'espèce neutre  $ZnCO_3$  (smithsonite) est abondant dans les eaux à  $pH$  supérieur à 8 (Hem, 1972 ; Stumm et Morgan, 1996).

L'altération des sulfures par oxydation produit la libération de l'ion zincique par l'équation :  
 $ZnS + 2O_2 \rightarrow Zn^{2+} + SO_4^{2-}$

Dans notre zone d'étude le Zinc existe avec des teneurs négligeables. Dans tous les points de prélèvement (figure.24), les concentrations du Zinc ne dépassent pas  $0.2 \mu g/l$  ; or, les limites de l'OMS en 2017, sont marquées à  $4 \text{ mg/l}$ .



**Fig.24: Carte de variation du Zinc (Zn)**

### **Impact du Zinc (Zn) sur l'environnement :**

Le zinc est un élément qui est essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies.

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais les concentrations en zinc de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les

activités industrielles, telles que l'exploitation minière, la combustion du charbon et des déchets et l'industrie de l'acier.

L'eau est polluée en zinc du fait de la présence de grandes quantités dans les eaux usées des usines industrielles. Ces eaux usées ne sont pas traitées de façon satisfaisante. L'une des conséquences est que les fleuves déposent des boues polluées en zinc sur leurs rives. Le zinc peut aussi augmenter l'acidité de l'eau.

Quand le sol des terres agricoles est polluées par du zinc, les animaux absorbent des concentrations mauvaises pour leur santé. Enfin le zinc peut interrompre l'activité du sol, car il a une influence négative sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre, ce qui reflète sur la décomposition de la matière organique.

### 2.3.8. Origines naturelles et humaines des métaux lourds dans l'environnement

Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'intermédiaire de sources naturelles et humaines. Cette contamination a plusieurs origines telles que la combustion de fossiles, les gaz d'échappement des véhicules, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture et les déchets liquides et solides. Mais elle peut également être d'origine naturelle via les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion, l'infiltration, etc.

Le tableau 14 Suivant, donne quelques métaux lourds et ces sources de provenance dans la nature.

**Tableau.14: Liste non exhaustive de la provenance des métaux lourds et métalloïdes dans l'environnement (Sparks, 1998)**

Elément	Sources
As	Sous-produit minier, pesticides, déchets chimiques, préservateur de bois
Cd	Extraction et fonderie du plomb et du zinc, décharges industrielles, déchets miniers
Cr	Additif des eaux de refroidissement
Cu	Déchets domestiques et industriels, mine, lixiviation de minéraux
Hg	Déchets industriels, mines, pesticides, charbon
Ni	Sources géologiques naturelles, industrie, mine
Pb	Industrie, mines, plomberie, charbon, essence
Se	Sources géologiques naturelles, charbon
Zn	Déchets industriels, plomberie

### 3. Conclusion

Les eaux de surface du sous bassin d'Oued Fendek, assez bonne vue les concentrations des éléments en trace (ETM) à savoir le Cuivre (Cu), le Cadmium (Cd) et le Zinc (Zn), où elles ont des teneurs inférieures en générale aux normes de l'OMS diffusées en 2017; cette qualité est un résultat de l'absence de l'industrie dans cette zone, sauf un ancien usine de mercure qui en arrêt actuellement.

Le Ph et la température des eaux de sous bassin est acceptable, elles répondent aux l'exigence de l'OMS.

Au point de vue de conductivité électrique (CE) et totale des solides dissous (TDS), les eaux de la zone d'étude restent de mauvaise qualité par rapport aux seuils de l'OMS en 2017. Cette détérioration de qualité, probablement, due de rejets et eaux usées domestique de la population installées sur les deux rives d'Oued Fendek.

**Conclusion générale :**

Si l'eau est la ressource la plus importante dans le monde; leur protection est le devoir de tous les habitants de cette planète.

La pollution est le plus grand danger qui menace les ressources hydriques, la protection de ses ressources sollicite un contrôle continu de la qualité. De ce fait, l'appel à une étude hydrochimique est indispensable pour vérifier l'état de qualité d'une partie des eaux de surface de la région d'Azzaba. Dont le sous bassin d'Oued Fendek a pour objet de contrôler.

La région de notre étude, fait partie de la région d'Azzaba, qui lui-même rentre dans le territoire administratif de la wilaya de Skikda (N-E Algérie). Cette région a un climat tempéré méditerranéen, caractérisée par deux saison bien déterminer, l'une humide et froide en hiver; l'autre sèche et chaude en été.

La géologie de la région est très compliquée, ceci est le résultat d'une tectonique souples (plis) et d'autres cassantes (failles) liées à de nombreuses phases tectoniques compressives.

La zone d'étude est située dans le sous bassin de Kébir Hammam, elle a un réseau hydrographique assez dense, caractérisé par trois principaux cours d'eau ; Oued Fendek, Oued Zebda et Krob.

Au point de vue hydrochimique, les eaux de surface du sous bassin d'Oued Fendek, assez bonne vue les concentrations des éléments en trace (ETM) à savoir le Cuivre, le Cadmium et le Zinc, où elles ont des teneurs inférieurs en générale aux normes de l'OMS diffusées en 2017; cette qualité est un résultat de l'absence de l'industrie dans cette zone.

Le Ph et la température des eaux de sous bassin est acceptable, elles répondent aux l'exigence de l'OMS.

Au point de vue de conductivité électrique (CE) et totale des solides dissous (TDS), les eaux de la zone d'étude restent de mauvaise qualité par rapport aux seuils de l'OMS en 2017. Cette détérioration de qualité, probablement, due de rejets et eaux usées domestique de la population installées sur les deux rives d'Oued Fendek, sans oublier l'utilisation des engrais dans l'agriculture.

## Bibliographie

- **A.N.R.H, 1993.** Agence Nationale des Ressources Hydriques d'Annaba.
- **Bekkouche M.F., 2009.** Caractéristiques des sources thermales de la région D'Azzaba. Mémoire de magister. Université Badji Mokhtar-Annaba. P.
- **Benhamza M., 2005.** Qualité des eaux souterraines du district mercuriel de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba), N E Algérie. Séminai National sur l'Industrie Minérale et l'Environnement. SNIME 2005, Annaba les 6 et 7 Décembre 2005. 6 p.
- **Benhamza M., Kherici N., Nezzal A., 2006.** Hydrochimie des eaux souterraines de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba), Nord Est Algérie : Evaluation de la contamination mercurielle sur la population. The third International conference on the « Water Resources in the Mediterranean Basin » Tripoli Lebanon 1-3 November 2006. 5 p.
- **Benhamza M., 2005.** Application de l'Analyse en Composante Principale à l'évolution de la pollution mercurielle dans la région de Azzaba (1999, 2000, 2001). 1er Colloque Euro Méditerranéen en Biologie Végétale et Environnement, les 28, 29 et 30 Novembre 2005, Université Badji-Mokhtar- Annaba (Algérie). 7 p.
- **Benhamza M., 2007.** contribution de la géophysique a l'étude hydrogéologique de la zone Mercurielle nord numidique (Azzaba) – détermination du degré de Pollution. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- **Benhamza M, Kherici N, Piccard-Bonnaud F., January 2007** «Hydrochemistry of groundwater in the Northnumidian mercuriel zone (Azzaba), North East Algeria:Effect of mercury contamination of population”. On Line Journal of Earth Sciences (1), MedwellJournal: p 51-57.
- **Benhamza Moussa.** « Hydrochemistry of groundwater in the mercurial zone of AzzabaNorth East Algéria: Contamination of population by mercury.” Capacity Building in Environment-related Issues in Geomining and Coastal Zone Management, organised by TWAS and FORGEA INTERNATIONAL atIglesias- Monteponi, Italyfrom 26 Ferbruary to 9 March 2007.
- **Benhamza M., 1996.** Etude hydrogéologique de la zone mercurielle de Fendek (Azzaba)-conséquence de l'exploitation des gisements mercuriels sur l'environnement Thèse de magister. Université d'Annaba.
- **Boulegblem Z., 2015.** Etude hydrogéologique et évaluation des ressources en eau dans la Région azzaba-guerbes. Université Badji Mokhtar-Annaba.

- **Bouزيد M., 2003.** Qualité des eaux de la région de Azzaba –application de l’A.C.P à la pollution mercurielle-mémoire d’ingénieur d’état en géologie, option hydrogéologie Université Annaba.
- **Burnol (BRGM). I. Duro, m. Grive (ENVIROS) ., 2006.** Eléments traces métalliques, guide méthodologique.
- **Deleau P., 1983.** Etude géologique des régions de Jemmapes, Hammam Meskoutine et du col des oliviers. Thèse Sc. Paris. Pibli. Serv. Carte géol. Algérie, (2), Bull. N° 14, Texte et atlas, Alger.
- **Denon A., 1988.** Le gisement d’Ismaïl (Azzaba) et l’indice de Bou Ghezlane (Cap de Fer) : Deux concentrations mercurifères encaissées dans l’orogène alpin du Nord-Est Algérien.
- **M. Di Benedetto et al., 1997.** méthodes spectrométriques d’analyse et de caractérisation, dossier sam les métaux lourds. École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne.
- **Matias Miguel Salvarredy Aranguren., 2008.** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des Déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydro chimique. Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
- Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, incorporating the first addendum. World health organization (WHO), 2017.
- **Medjani F., 2007.** Ressources en eau, vulnérabilité et développement durable dans la plaine de Skikda (Nord-Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 88 pages.
- **Nechem D., 2009.** Qualité des eaux des sources thermales. Cas des sources du Djebel Safia (Hadjar Soud), Nord Est Algérien. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- **Radji H., Rihia D., 2006.** Qualité et potabilité des eaux de la région d’Azzaba- Constat de la pollution mercurielle après l’arrêt l’usine de mercure. Université d’Annaba.
- **Raoult J.F., 1966.** Sur la l’allochtonie de la chaîne calcaire dans la région du Djebel Sidi Dris (Nord-constantinois ALGERIEN)
- **Raoult J.F., 1968.** chevauchement d’âge Eocène dans la dorsale de Djebel Bouabed (Est de la chaîne Numidique, ALGERIE) C.R.ACAD.SC.t.266, paris, série D, p. 861-864.

- **Rodier J., 2009.** L'analyse de l'eau ,9eme édition (entièrement mise à jour), Ed. Dunod, Paris.
- **Vila J. M. et AL., 1974.** Sur la présence d'un filon de roche lamproitique (trachyt potassique à olovine) recoupant le flyshs de type. Guerouche entre Azzaba (ex. Jemmapes) et hammam Meskhoutine dans l'Est du constantinois (ALGERIE)  
C. R. Acad. Sc. T. 286 Paris, série D, p391-394.

## Résumé

La présente étude permet d'identifier la qualité des eaux de surface de sous bassin d'Oued Fendek situé dans la région d'Azzaba wilaya de Skikda qui notre objectif essentiel. A ce but, notre étude traite les aspects géologique, hydroclimatologique, hydrochimique et la pollution des eaux de sous bassin.

Le sous bassin d'Oued Fendek fait partie du sous bassin de Kébir Hammam, avec des principaux cours d'eau ; Oued Fendek, Oued Zebda et Krob. Il se caractérise par un climat méditerranéen, humide et froid en hiver et chaud et Sèche en été.

La qualité des eaux du sous bassin d'Oued Fendek, assez bonne, vue aux teneurs faibles des éléments en trace étudier à savoir, le Cuivre, le Zinc et le Cadmium.

Les teneurs du Ph et la température des eaux de surface de sous bassin est acceptable, elles répondent aux l'exigence de l'OMS. Par contre les concentrations de la conductivité électrique et totale des solides dissous, dépassent les normes de l'OMS diffusées en 2017. Les eaux de la zone d'étude classées mauvaise qualité par rapport les deux derniers paramètres (CE et TDS).

**Mots clés : Azzaba, Oued Fendek, eaux de surface, Pollution, Norme.**

## Abstract

The present study allowed to identify the quality of waters of surface of under basin of Oued Fendek situated in the region of Azzaba wilaya of Skikda, who our essential objective. In this purpose, our study handles the geologic, hydroclimatological, hydrochemical aspects and the water pollution of under basin.

Under basin of Oued Fendek be a part of under basin of Kébir Hammam, with main streams; Fendek stream, Zebda and Krob. It characterized by a Mediterranean climate, wet and cold in winter and Hot and dry in summer.

The quality of waters of under pond of Oued Fendek, rather good, seen in the low contents of elements in track to study as: the Copper, the Zinc and the Cadmium.

The contents of the PH and the temperature of waters of surface of under basin is acceptable, they answer in the requirement of the WHO. On the other hand the concentrations of the electric conductivity and total of the dissolved solids exceed the standards of the WHO spread in 2017. Waters of the zone of study classified bad quality by report the last two parameters (CE and TDS).

**keywords: Azzaba, Oued Fendek, surface waters, Pollution, Standards.**

## المخلص

إن هذه الدراسة تسمح لنا بمعرفة نوعية المياه السطحية لحوض واد فندق بمنطقة عزابة ولاية سكيكدة و الذي هو هدفنا الرئيسي . و لهذا الغرض دراستنا تتناول الجوانب التالية : جيولوجيا المنطقة و المناخ السائد و كيمياء المياه و تلوث المياه في المنطقة.

إن حوض واد فندق هو جزء من حوض واد كبير حمام، و هو يتكون من ثلاثة وديان رئيسية هي : واد فندق و واد زبدة و واد قرب. يتميز بمناخ البحر الأبيض المتوسط، فهو بارد و ممطر شتاء، حار وجاف صيفا.

تعتبر نوعية المياه السطحية لحوض واد فندق جيدة من حيث احتوائها على تراكيز جد ضعيفة من معادن النحاس والكاديوم و الزنك. درجة حرارة هذه المياه وحموضتها مقبولة جدا مقارنة بالحدود المنصوح بها من طرف المنظمة العالمية للصحة. في حين ناقليتها للكهرباء و جملة المواد الصلبة الذائبة، تتجاوز حدود المنظمة العالمية للصحة. و بالتالي فان هذه المياه تصنف بالسيئة بالنسبة للمعيارين السابقين.

**الكلمات المفتاح: عزابة، واد فندق، المياه السطحية، التلوث، الحدود.**