



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

IMAKHOUKHENE Nawel

OUAMARA Messad

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : Ouvrages et Aménagements Hydrauliques.

INTITULE :

L'HYDRO-CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION AVAL DU BARRAGE TICHY HAF ET LES ENVIRONS DE LA HAUTE SOUMMAM

Soutenu le **10 / 07 / 2019** devant le jury composé de :

- Président : **Mr BEDJOU A.**
- Promoteur (s) : **Mr AIT OUALI A.**

Mr BENDAHMANE I.

- Examineur (s) : **Mr MERAH F.**
- Invité : **Mr BERREKSI A.**

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier, « Allah » le tout puissant qui nous a procuré, patience, courage et volonté afin de réaliser ce modeste travail.

Nous aimerons exprimer nos gratitudeux aux êtres les plus chers aux monde « Nos Parents » pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de nous voir réussir et pour l'éducation qu'ils nous ont prodigué.

Au terme de la réalisation de ce travail, nous remercions vivement notre promoteur Mr BENDAHMANE Ibrahim et notre Co-promoteur Mr AIT OUALI Abd Elkader, On leurs est reconnaissantes d'avoir accepté de nous encadrer, de nous conseiller, d'être toujours disponibles pour nous guider et orienter.

Nos vifs remerciements à Mr BERREKSI Ali pour ses conseils, son encouragement et pour l'aide qui nous a apporté.

On remercie sincèrement les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail.

On souhaite remercier tout particulièrement le personnel des laboratoires d'analyses : ADE de Tizi Ouzou, ADE de Bejaia, SEAAL de Tizi Ouzou, Pour sa disponibilité et sa gentillesse.

Enfin, on exprime nos vifs remerciements à tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Celui qui est le plus cher que mon âme et mon sang, la lumière de mon chemin, à mon père que dieux le garde.

A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère maman toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

Aux sources de l'espoir dans ma vie.

Mes frères Azouaou , Aderbal, Massine, Zigy.

A mes meilleures sœurs Malika, Massiva et Thinhinane.

A mes très chères petites poupées adorées Zaza, mîli, lahna, massicilia, Narimane.

A mon petit Syphaxe que dieu le guérisse.

A la mémoire de mes grands-parents.

A mon très chère Hocine pour son soutien.

A ma binôme, Nawel (Nounoucha), et meilleur amie pour les efforts fournis pour l'élaboration de ce travail et à sa généreuse famille (khalil Saïd et Na Zaïna).

A mes amis(e) : Zahra(Ahlala), Massicilia, Ahmed, Souad.

Toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

Messad

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard,
de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre
mes objectifs.*

A ma chère sœur NOUARA (Minoucha),

A mes frères KARIM et ARAB,

*Pour leurs soutiens moral et leurs conseils précieux tout au
long de mes études.*

A mes grands-mères GARMIA et ELDJIDA

Aux quelles je souhaite une bonne santé.

A ma chère binôme, sœur et amie, Messad,

Pour son entente et sa sympathie.

A mes précieux

AHMED, Massicylia (Massi), Hocine,

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Nawel

TABLE DES MATIERES

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

*Partie 1 : Etude hydrologique et climatologique**Chapitre I : Etude hydrologique*

I.1	Introduction.....	3
I.2	Description du site	3
I.2.1	Présentation du sous bassin versant de OUED BOUSSELLAM AVAL	4
I.3	Caractéristiques morphologiques du sous bassin	6
I.3.1	Paramètres géométriques	6
I.3.2	Paramètres de forme	6
I.3.2.1	Indice de compacité de Gravelius	6
I.3.2.2	Coefficient d'allongement.....	6
I.3.2.3	Le rectangle équivalent	7
I.4	Les données des débits de la station hydrométrique.....	7
I.4.1	Régime des débits	8
I.4.1.1	Régime annuel.....	8
I.4.1.2	Régime mensuel.....	8
I.4.2	Relation Débits – Précipitations pour la période (1981/1999)	9
I.4.2.1	Corrélation précipitations - débits	10
I.5	Etude de l'évapotranspiration	11
I.5.1	Formules de calcul de l'ETP.....	12
I.5.2	Formules de calcul de l'ETR	13
I.6	Bilan hydrologique	17
I.6.1	Ruissellement superficiel.....	17
I.6.2	Infiltration	18
I.7	Étude hydrodynamique.....	18
I.7.1	Présentation du barrage de Tichy-Haf [Bejaia]	18
I.7.2	Paramètres hydrodynamiques	19
I.8	Conclusion	20

Chapitre II : Etude climatologique

II.1	Introduction	21
II.2	Étude des précipitations	21
II.2.1	Variation interannuelle.....	22
II.2.2	Le coefficient pluviométrique.....	24

II.2.3	Variation mensuelle	25
II.2.4	Répartitions saisonnières des précipitations	26
II.3	Températures	27
II.4	Les indices climatiques	28
II.4.1	Méthode de GAUSSEN et BAGNOULS	28
II.4.2	Climagramme de Emberger	29
II.4.3	Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte).....	31
II.4.4	Indice d'aridité de De Martonne	31
II.4.5	Indice de Moral	33
II.5	Conclusion.....	34

Partie 2 : Etude hydro-chimique

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1	Introduction	35
III.2	Méthodes d'échantillonnage	35
III.3	Technique de prélèvement	36
III.4	Dosages et mesures effectués au laboratoire	37
III.4.1	Caractéristiques physico-chimiques des eaux	37
III.4.1.1	Mesure de la température	37
III.4.1.2	Le potentiel d'hydrogène (pH).....	37
III.4.1.3	La conductivité électrique	38
III.4.1.4	La turbidité	38
III.4.1.5	Mesure de la salinité.....	39
III.4.1.6	Total des solides dissous (TDS).....	39
III.4.2	Eléments chimiques	39
III.4.2.1	Dosage des chlorures (Cl^-).....	39
III.4.2.2	Dosage de la dureté calcique (Ca^{2+}).....	41
III.4.2.3	Dosage de la dureté totale (TH)	42
III.4.2.4	Dosage du magnésium (Mg^{2+})	43
III.4.2.5	Dosage de l'alcalinité (HCO_3^-).....	44
III.4.2.6	Dosage des Nitrites (NO_2^-).....	45
III.4.2.7	Dosage des Nitrates (NO_3^-)	46
III.4.2.8	Dosage des sulfates (SO_4^{2-})	47
III.4.2.9	Dosage de Sodium (Na) et de Potassium (K).....	48

III.5	Conclusion.....	49
<i>Chapitre IV : Analyses et discussions</i>		
IV.1	Introduction	50
IV.2	Résultats des analyses	50
IV.3	Caractéristiques physico–chimiques des eaux souterraines	51
IV.3.1	La température (T)	51
IV.3.2	Le pH	51
IV.3.3	La conductivité électrique (CE)	52
IV.4	Analyse des éléments chimiques.....	53
IV.4.1	Les chlorures	53
IV.4.2	Bicarbonates	53
IV.4.3	Les teneurs en Sulfates	54
IV.4.4	Les teneurs en Nitrates	55
IV.4.5	Les teneurs en Sodium	55
IV.4.6	Les teneurs en Magnésium.....	56
IV.4.7	Les teneurs en Calcium	57
IV.4.8	Les teneurs en Potassium	57
IV.5	Classification des eaux selon Piper	58
IV.6	Classification des eaux selon Schoëller-Berkaloff.....	59
IV.7	Conclusion.....	61
	Conclusion générale.....	62
	Recommandations.....	63
	Références bibliographiques.....	64
	Annexes	

LISTE DES SYMBOLES

a	Exposant climatique [-]
D	Déficit [mm]
F	Facteur de correction [-]
H	Coefficient pluviométrique [-]
I	Indice d'aridité de De. Martonne [-]
i	Classement du mois [-]
I_a	Indice thermique annuel [-]
I_f	Infiltration [mm]
i_m	Indice thermique mensuel [-]
K	Facteur de correction [-]
K_c	Indice de compacité de GRAVELLIUS [-].
K_p	Coefficient d'allongement [-]
L	Longueur du talweg principal [Km]
L_r	Longueur du rectangle équivalent [Km]
l_r	Largeur équivalente [Km]
M	Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en [°K]
m	Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en [°K]
M_{Ca++}	Masse molaire du calcium [g/mol]
M_{CaCO3}	Masse molaire de CaCO ₃ [g/mol]
M_{cl}	Masse molaire du chlorure [g/mol]
M_{HCO3-}	Masse molaire de HCO ₃ ⁻ [g/mol]
M_{Mg++}	Masse molaire de Mg ⁺⁺ [g/mol]
N	Durée Astronomique du jour pendant le mois considéré [h/j]
N_A	Normalité de HCO ₃ ⁻ [-]
N_{AgNO3}	Normalité d'AgNO ₃ [-]
N_{EDTA}	Normalité de l'EDTA [-]
P	Pluviométrie moyenne pour une période de N années [mm]
P_h	Hauteur moyenne des précipitations [m]
P_i	Pluviométrie d'une année donnée [mm]
P_r	Périmètre du sous bassin versant [Km]
Q	Débit [m ³ /s]
Q₂	Quotient pluviométrique d'Emberger [-]
R	Ruissellement moyen annuel [mm]

S	Surface du sous bassin versant [Km ²]
T	Température moyenne annuelle [°C]
t	Températures moyennes mensuelles [°C]
V₁	Chute burette [ml]
V_{AgNO3}	Volume d'AgNO ₃ [ml]
V_{Ca⁺⁺}	Volume de Ca ⁺⁺ [ml]
V_{éch}	Volume de l'échantillon [ml]
V_{HCO3-}	Volume de HCO ₃ ⁻ [ml]
V_{Mg⁺⁺}	Volume de Mg ⁺⁺ [ml]
V_{TH}	Volume de TH [ml]

LISTE DES ABREVIATIONS

Ar	Aride
ADE	Algérienne Des Eaux
AgNO₃	Nitrates d'argent
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
BV	Bassin Versant
CaCO₃	Carbonates de calcium
EDTA	Ethylène Diamine Titra Acétique Disotique
ETP	Évapotranspiration potentielle
ETP_C :	Evapotranspiration potentielle corrigé
ETR	Évapotranspiration réelle
Hu	Humide
Lat	Latitude
NaOH	Hydroxyde de sodium
NET	Noir Eriochrome T
NH₄OH	Tampon ammoniacal
Pl	Pluvieux
Se	Sec
SEAAL	Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
SO₂	Soufre

LISTE DES FIGURES

Figure (I.1): Localisation du bassin versant de la Soummam.	3
Figure (I.2): Situation géographique de la zone d'étude.	5
Figure (I.3) : Variation des débits moyens interannuels à la station de SIDI YAHIA.	8
Figure (I.4): Variation des débits moyens mensuels à la station de SIDI YAHIA.	9
Figure (I.5): Relation Précipitation-Débit, période (1981/1999).	10
Figure (I.6): Corrélation Précipitations-Débits.....	11
Figure (I.7): Projection des précipitations moyennes annuelles sur l'abaque de VERDEIL.	15
Figure (I.8): Abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR).....	16
Figure (I.9): Vue globale du barrage de Tichy Haf.	19
Figure (II.1): Emplacement des stations pluviométriques sur le bassin versant de la Soummam (Faite avec le logiciel MapInfo).....	22
Figure (II.2): Variation des précipitations moyennes interannuelles aux différentes stations	23
Figure (II.3): Variation mensuelle des précipitations aux différentes stations.	26
Figure (II.4) : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de SIDI YAHIA, période. (1993-2008).....	27
Figure (II.5): Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station de SIDI YAHIA, période (1993/2008).....	28
Figure (II.6): Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS du sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL.	29
Figure (II.7): Situation bioclimatique du barrage Tichy Haf et la zone d'étude selon le Climagramme d'Emberger.....	30
Figure (II.8): Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne....	32
Figure (III.1): Points de prélèvements (Photo réalisé en utilisant Google Earth).....	36
Figure (III.2): Photo d'un PH-mètre prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou.....	37
Figure (III.3): Photo d'un conductimètre prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou.....	38
Figure (III.4): Photo d'un turbidimètre prise au niveau de l'ADE (Bejaia).	38

Figure (III.5): Appareil multi-paramètres (www.Google.com)	39
Figure (III.6): Couleur de l'échantillon avant et après titrage (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).	40
Figure (III.7): Couleur de l'échantillon avant et après titrage (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).	42
Figure (III.8): Couleur de l'échantillon avant et après titrage (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).	43
Figure (III.9): Apparition d'une couleur jaune orangé (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).	45
Figure (III.10): Dosage de NO_2 (Photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).	46
Figure (III.11): Appareil HACH (Photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).	46
Figure (III.12): Dosage de NO_3^- (photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).	47
Figure (III.13): Dosage de SO_4^- (photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).	47
Figure (III.14): Specto-photomètre à flamme (www.Google.com)	48
Figure (IV.1): Variation de la température de l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	51
Figure (IV.2): Variation du PH de l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	52
Figure (IV.3): Variation de la conductivité de l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	52
Figure (IV.4): Variation des teneurs en chlorures dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	53
Figure (IV.5): Variation des teneurs en bicarbonates dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	54
Figure (IV.6): Variation des teneurs en sulfates dans l'eau dans quelques points de prélèvement et la norme algérienne.	54
Figure (IV.7): Variation des teneurs en Nitrates dans l'eau dans quelques points de prélèvement et la norme algérienne.	55
Figure (IV.8): Variation des teneurs en sodium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	56

Figure (IV.9): La variation des teneurs en magnésium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	56
Figure (IV.10): Variation des teneurs en calcium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	57
Figure (IV.11): Variation des teneurs en potassium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.	58
Figure (IV.12): Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la zone d'étude (Haute Soummam)	59
Figure (IV.13): Diagramme de Schoëller-Berkaloff pour les eaux souterraine de la zone d'étude (Haute Soummam).....	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1): Bassins hydrologiques en Algérie.	4
Tableau (I.2): Caractéristiques de la station hydrométrique de SIDI YAHIA.	7
Tableau (I.3): Débits mensuels interannuels (m^3/s) de 1981 à 1999 à la station de SIDI YAHIA.	8
Tableau (I.4): Relation précipitations–Débits.....	10
Tableau (I.5): Valeurs de l’ETP calculées par la méthode de Thornthwaite.....	13
Tableau (I.6): Valeurs de l’ETP calculées par la méthode de Serra.	13
Tableau (I.7): Récapitulation des valeurs de l’évapotranspiration.	17
Tableau (I.8): Résultat du ruissellement superficiel pour la station de SIDI YAHIA.	18
Tableau (I.9): Résultats de l’infiltration.....	18
Tableau (II.1): Différentes stations pluviométriques et leur code.	21
Tableau (II.2): Variation interannuelle des précipitations aux différentes stations en (mm).....	22
Tableau (II.3): Années déficitaires et excédentaires.....	24
Tableau (II.4): Années déficitaires et excédentaires (suite et fin).	25
Tableau (II.5): Variation mensuelle des précipitations aux différentes stations en (mm).	25
Tableau (II.6): Précipitations saisonnières (1993–2008), station de SIDI YAHIA.	26
Tableau (II.7): Températures moyennes maximales et minimales mensuelles de la station SIDI YAHIA (1993/2008).....	27
Tableau (II.8): Valeurs du rapport P/T pour la période (1993-2008) à la station de SIDI YAHIA.	31
Tableau (II.9): Valeurs de l’indice d’aridité de De Martonne.....	31
Tableau (II.10): Valeurs de l’indice de De Martonne mensuel.	33
Tableau (II.11): Indice d’aridité de Moral.	33
Tableau (II.12) : Valeurs de l’indice mensuel de Moral et le type de climat.....	34
Tableau (III.1): Coordonnées des points de prélèvements	36
Tableau (IV.1): Résultats d’analyses d’un échantillon.....	50

Introduction générale

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau, dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable. Lors de sa circulation dans le sol, à la surface de la terre ou même dans l'air, l'eau se pollue et se charge de matière en suspension ou dissoute, pouvant être des particules d'argile, des déchets de végétation, d'organismes vivants, de bactéries, de virus, des matières organiques et des sels divers (chlorures, sulfates, carbonate, sodium, calcium, fer, ... etc.).

La construction du barrage de Tichy-Haff (Bejaia, Algérie), dont le principal but est de régulariser le cours d'eau de Boussellam et de stocker une grande quantité d'eau, modifiera significativement le régime hydraulique et environnemental à l'aval de l'axe du barrage. Il était nécessaire dans le cadre de l'étude d'impact de s'intéresser aux conséquences de ces modifications de régime et beaucoup plus sur la modification de la qualité des eaux souterraines de la nappe. Ces eaux sont devenues chargées par des sels d'après plusieurs campagnes et investigations effectuées sur des parcelles agricoles situées juste à l'aval de ce barrage, ainsi que des témoignages des agriculteurs de cette région.

L'origine de ces divers sels diffère d'une zone à une autre, ce qui nous a orienté à faire cette étude qui vise à déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux de quelques sources se trouvant dans le sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL, situé au Sud-Est de la wilaya de Bejaia. L'analyse des éléments suivants : T° , pH, CE, S, TDS, Trd, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , HCO_3^- , TH, Fe, ...etc, a pour objectif de déterminer, grâce à l'utilisation du diagramme de Piper et de Schoëller Berkaloff, des faciès chimiques des eaux de sources qui permettront de reconnaître l'origine des fortes teneurs en sel dissous de nos échantillons.

Il a fallu beaucoup d'abnégation pour récolter les informations afin de mener à bien l'étude sur L'OUED BOUSSELLAM AVAL, cette étude se compose de deux parties :

La première partie sera consacrée à l'étude hydrologique et climatologique où on va collecter et analyser l'ensemble des données climatiques, pluviométriques et hydrologiques permettant de décrire à la fois le milieu, les caractéristiques pluviométriques et les évolutions géomorphologiques sur le sous bassin versant, cette étude elle-même sera divisée en deux chapitres :

Le premier chapitre abordera une étude hydrologique qui sera basée sur la description du site, les caractéristiques morphométriques, relation débit-précipitation, évapotranspirations potentiels et réelles, bilan hydrologique, étude hydrodynamique ...etc.

Le deuxième chapitre s'intéressera à l'analyse des facteurs climatiques et les régimes pluviométriques à savoir la période humide et la période sèche et le type du climat caractérisant la région d'étude.

Quant à la seconde partie du travail, elle sera consacrée à l'étude hydro-chimique des eaux souterraines de la plaine alluviale d'OUED BOUSSELEM AVAL, tout particulièrement la haute Soummam, et du barrage de Tichy-Haf; on va essayer d'une part de suivre

l'évolution spatiale de la qualité des eaux souterraines ainsi qu'une caractérisation chimique et physico-chimique et d'une autre part à étudier les mécanismes d'acquisition de la minéralisation, cette étude englobe deux chapitres principaux :

Le troisième chapitre comportera les matériels et méthodes dont on citera les différents appareils et protocoles suivis lors de l'analyse de nos échantillons.

Le quatrième chapitre qui est résultats et discussions concerne la présentation des résultats et leurs discussions après leurs interprétations afin de connaître le taux de chaque élément dans les échantillons analysés.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale qui englobera tous les résultats obtenus.

partie 1: Etude hydrologique et climatologique

*partie 1: Etude
hydrologique
et climatologique*

Chapitre I: Etude hydrologique

*Chapitre I: Etude
hydrologique*

I.1 Introduction

L'hydrologie joue un rôle capital dans le domaine de l'ingénierie et des sciences environnementales, elle permet de cerner les mécanismes d'écoulement des eaux dans les bassins versants, ou les zones industrielles et urbaines, et de dimensionner les ouvrages hydrauliques utiles pour l'exploitation et la gestion des eaux. Ce chapitre a pour but de présenter une étude hydrologique qui comprend la description du site et la présentation des différentes données hydrologiques qui nous permettent d'avoir un aperçu sur l'hydrologie du milieu étudié et l'étude de l'évapotranspiration qui est importante dans les études de bilan hydrologique ou d'évaluation des ressources en eau.

I.2 Description du site

Le bassin versant de la Soummam est l'un des 17 grands bassins hydrologiques de l'Algérie (Tableau I.1) dont le numéro est 15 dans le répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (Figure I.1), situé au Nord-Est du pays entre 3,60° et 5,55° de longitude et entre 35,75° et 36,75° de latitude. Il a une forme très irrégulière, s'étendant sur une surface de 9125 km², du contrefort des monts Hodna au Sud à la mer méditerranée, le massif de Djurdjura et les chaînes côtières de Bejaia (monts de Taourirt Ighil et de Toudja) au Nord. A l'Ouest, la limite du bassin est occupée par le plateau de Bouira alors qu'à l'Est est délimité par les chaînes des Babors et le plateau de Sétif pour former ainsi une cuvette se jetant dans le golf de Bejaia. Ce bassin présente donc des caractères physiques nettement contrastés : en quelques dizaines de kilomètres à vol d'oiseau, on passe d'un secteur relativement plat et dénudé à un secteur montagneux portant de belles forêts verdâtres, d'un domaine semi-aride à un domaine sub-humide méditerranéen (AHMANE et BOUZARARI, 2005).

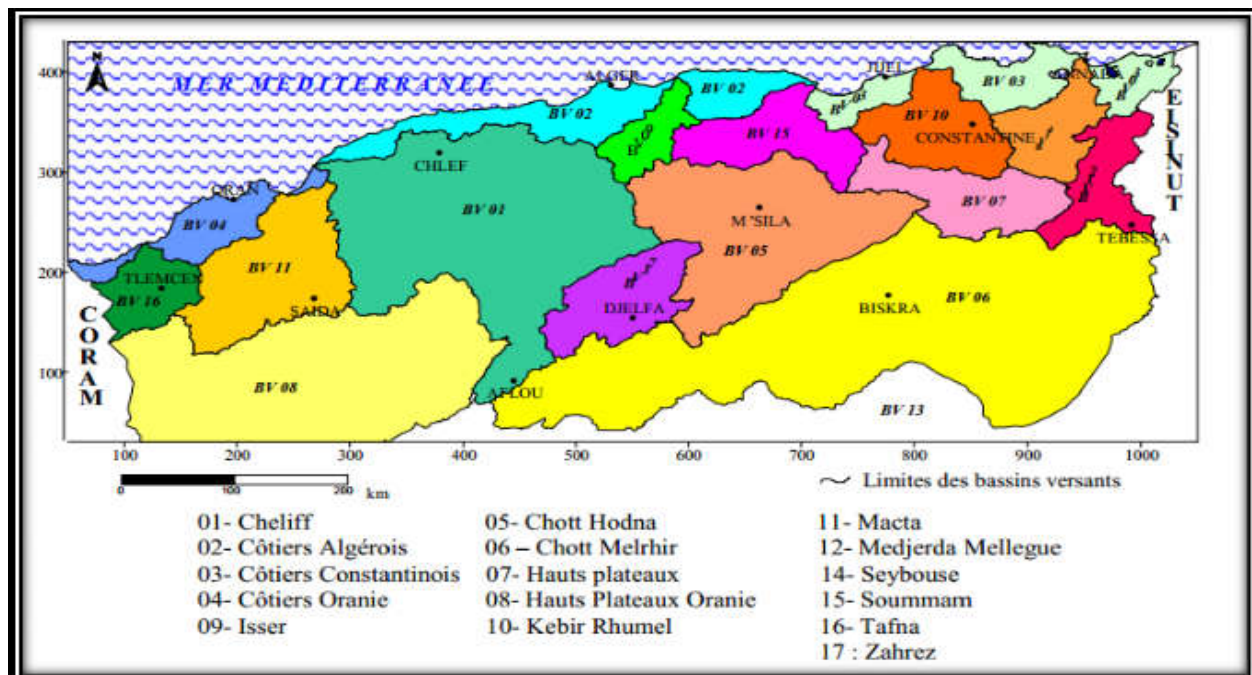


Figure (I.1): Localisation du bassin versant de la Soummam.

Tableau (I.1): Bassins hydrologiques en Algérie.

N° du bassin	Nom du bassin	N° du bassin	Nom du bassin
1	Cheliff	10	Kebir Rhumel
2	Côtiers algérois	11	Macta
3	Côtiers constantinois	12	Medjerdah
4	Côtiers oranais	13	Sahara
5	Chott Hodna	14	Seybouse
6	Chott melghir	15	Soummam
7	H plaines constantinoises	16	Tafna
8	H plaines oranaises	17	Zahrez
9	Isser		

I.2.1 Présentation du sous bassin versant de OUED BOUSSELLAM AVAL

L'oued Bousselam représente le principal axe hydrographique de Sétif. Il constitue avec l'oued Sahel à l'Ouest, l'un des deux principaux affluents de la Soummam, à environ 20 Km de la vallée de la Soummam. Il se situe à 7 kilomètres à l'amont de la station hydrométrique de SIDI YAHIA; il draine 54,9 % de la superficie totale du bassin à la mer (djenba, 2015).

Le sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL dont le numéro est 9 dans le bassin versant de la Soummam, situé au Nord de 4°23'25'' de longitude, à l'Est de 36°23'26'' de latitude, il a une forme allongée, s'étendant sur une surface de 365.3 km², avec une longueur de 26.88 km (coyne et bellier, 1996). Le réseau hydrographique du sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL, montre une densité du réseau bien plus marquée dans la région inférieure, signe évident d'une participation plus active de cette région à l'écoulement (Figure I.2).

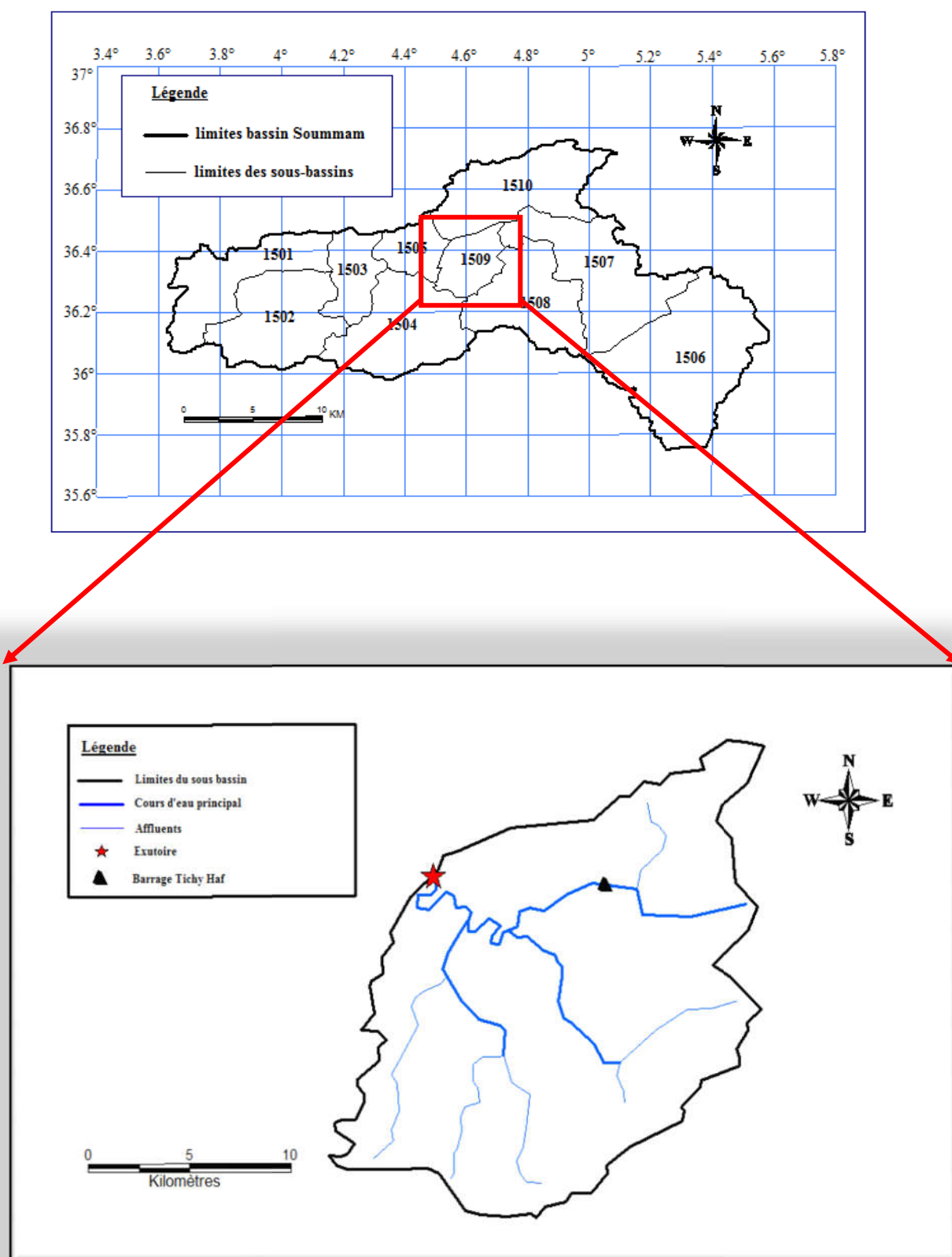


Figure (I.2): Situation géographique de la zone d'étude.

I.3 Caractéristiques morphologiques du sous bassin

Un bassin versant est caractérisé par des paramètres morphologiques, ces derniers influencent le temps et la forme de la réponse du bassin vis-à-vis d'un événement pluvieux (sari ahmed, 2002).

I.3.1 Paramètres géométriques

A partir des cartes d'état-major et à l'aide du logiciel SIG (MapInfo), on a déterminé la surface, le périmètre et la longueur du cours d'eau principal du sous bassin versant de l'OUED BOUSSELLAM AVAL, et qui sont de l'ordre de :

- Superficie : $S = 365.3 \text{ Km}^2$;
- Périmètre : $P_r = 91.03 \text{ Km}$;
- Longueur du talweg principal : $L = 26.88 \text{ Km}$.

I.3.2 Paramètres de forme

I.3.2.1 Indice de compacité de Gravelius

$$K_c = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (I.1)$$

Avec:

K_c : Indice de compacité de Gravelius.

Sachant que :

- $0 < K_c < 1$ Bassin parfaitement circulaire.
- $1 < K_c < 1.128$ Bassin carré.
- $1.128 < K_c < 3$ Bassin allongé.

S : Surface du sous bassin versant [Km^2];

P : Périmètre du sous bassin versant [Km].

D'où l'indice de compacité de GRAVELLIUS sera de l'ordre de :

$$K_c = 1.33$$

Donc, le sous bassin versant étudié est de forme allongé.

I.3.2.2 Coefficient d'allongement

Il est donné par la formule suivante :

$$K_p = \frac{P^2}{S} \quad (I.2)$$

Avec :

L : Longueur du talweg principal.

D'où, le coefficient d'allongement est de l'ordre de: $K_p = 22.68$

I.3.2.3 Le rectangle équivalent

Le rectangle équivalent se définit comme étant le rectangle de largeur (l) et de longueur (L) qui a la même superficie que le BV étudié. Les cotés du rectangle peuvent être calculés à partir des formules suivantes :

▪ **Longueur équivalente**

$$L_r = \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right] \frac{K_c \sqrt{S}}{1.128} \quad (I.3)$$

Avec :

L_r : longueur du rectangle équivalent [Km].

Donc, la longueur du rectangle équivalent est de l'ordre de: $L_r = 34.47$ Km

▪ **Largeur équivalente**

$$l_r = \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right] \frac{K_c \sqrt{S}}{1.128} \quad (I.4)$$

D'où la valeur de la largeur équivalente est de l'ordre de : $l_r = 10.59$ Km

I.4 Les données des débits de la station hydrométrique

Le sous bassin versant OUED BOUSELLAM AVAL est contrôlé par une station hydrométrique dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau (I.2):

Tableau (I.2): Caractéristiques de la station hydrométrique de SIDI YAHIA.

Station	Code ANRH	X (°)	Y (°)	Altitude (m)	Nom d'Oued contrôlé
SIDI YAHIA	15 09 01	4.81	35.98	210	OUED BOUSELLAM AVAL

Les données hydrométriques observées sur la période (1981-1999) ont été obtenues au niveau de l'ANRH. L'analyse de ces données est motionnée dans l'annexe (1).

La moyenne des débits mensuels interannuels en (m^3/s) pour la période de 1981 à 1999 mesurés à la station hydrométrique de SIDI YAHIA sont donnés dans le tableau (I.3):

Tableau (I.3): Débits mensuels interannuels (m^3/s) de 1981 à 1999 à la station de SIDI YAHIA.

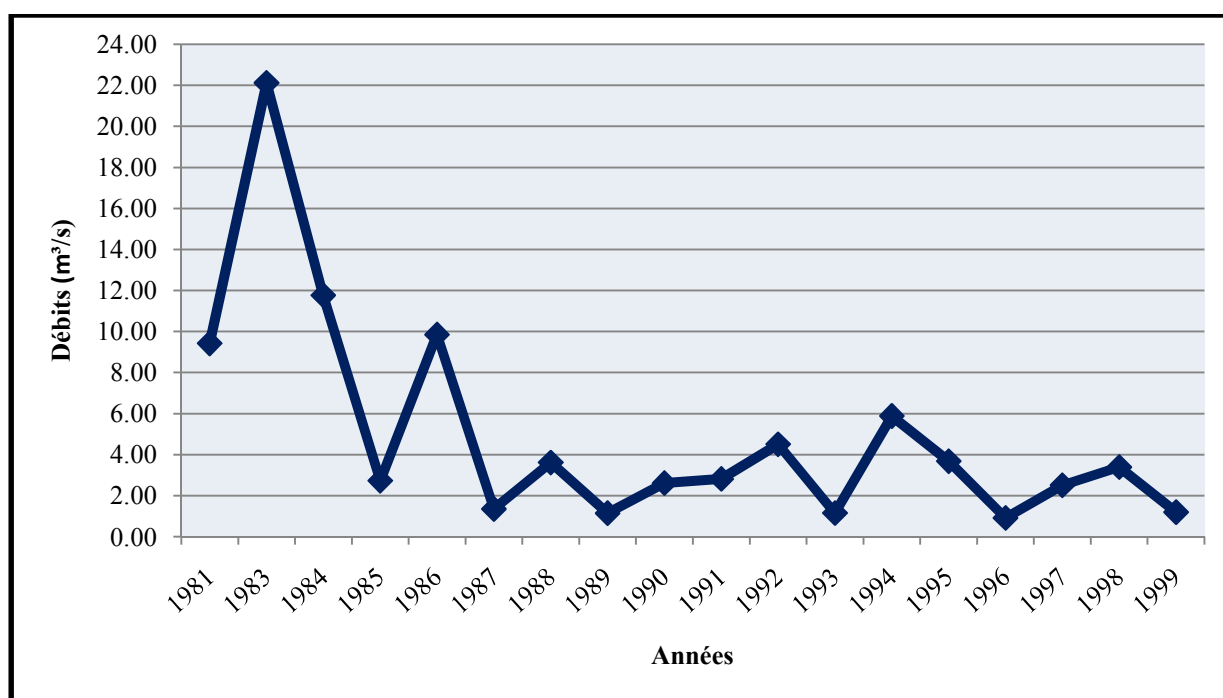
Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	moyenne annuelle
moy	1.67	1.29	1.43	4.45	9.59	10.62	11.17	7.15	5.18	3.30	2.35	2.19	5.03

I.4.1 Régime des débits

I.4.1.1 Régime annuel

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin. Le module brut ou absolu est généralement exprimé en m^3/s .

Le graphe de la figure (I.3) représente la variation moyenne interannuelle des débits de la station hydrométrique SIDI YAHIA (15 09 01).

**Figure (I.3): Variation des débits moyens interannuels à la station de SIDI YAHIA.**

On constate une variation interannuelle des débits en dents de scie avec une valeur maximale de $22.12 m^3/s$ en 1983.

Les débits enregistrés au niveau des séries continues témoignent d'une irrégularité saisonnière et interannuelle du régime d'écoulement.

I.4.1.2 Régime mensuel

Le régime d'écoulement mensuel résume la variabilité du débit et sa distribution durant l'année, l'analyse des débits moyens mensuels permet de mettre en évidence le régime des cours d'eau.

La figure (I.4) montre la variation des débits mensuels de la station SIDI YAHIA pour la période (1981-1999).

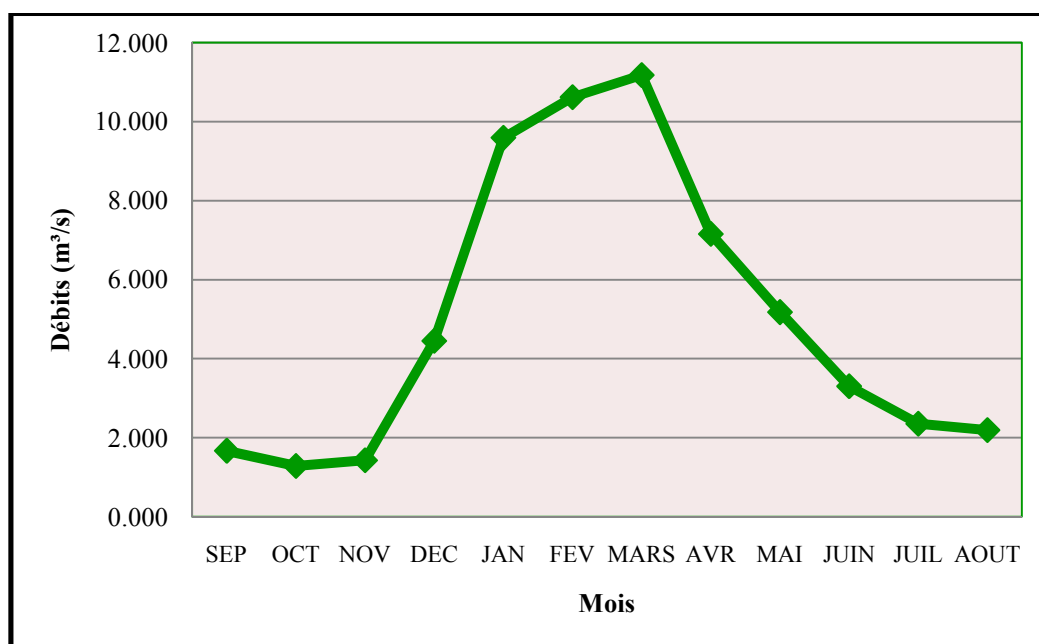


Figure (I.4): Variation des débits moyens mensuels à la station de SIDI YAHIA.

A partir du graphique (Figure I.4), on constate que les débits moyens mensuels enregistrés à la station présentent deux périodes, à savoir :

- Période de hautes eaux (Novembre - Avril jusqu'à Mai): le débit mensuel maximum est enregistré en Mars (11.174 m³/s); cela peut être expliqué par l'apport supplémentaire provenant de la fonte des neiges.
- Période de basses eaux (Mai - Octobre): le débit mensuel minimum est enregistré en Octobre (1.285 m³/s).

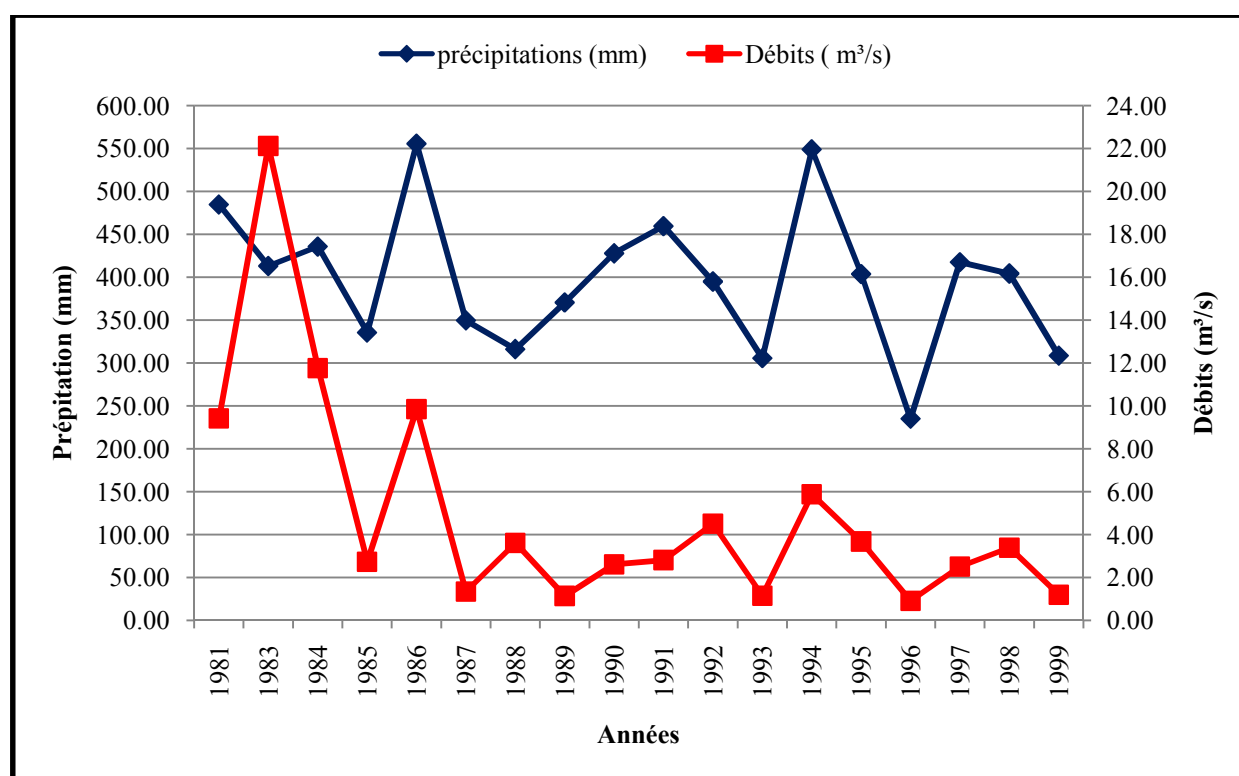
I.4.2 Relation Débits – Précipitations pour la période (1981/1999)

D'après cette analyse, on constate une étroite relation entre les précipitations et le régime des débits, car les faibles débits enregistrés correspondent à la saison sèche à « faibles précipitations » et les forts débits correspondent à la saison pluvieuse à « fortes précipitations ». La représentation graphique des débits en fonction des précipitations exprime une évolution parallèle entre ces deux paramètres (débits et précipitations) (Figure I.5).

Le tableau (I.4) montre les débits et les précipitations pour la période (1981-1999).

Tableau (I.4): Relation précipitations–Débits.

Année	Précipitations (mm)	Débits (m/s)	Année	Précipitations (mm)	Débits (m/s)
1981	484.87	9.42	1991	459.60	2.81
1983	413.17	22.12	1992	394.97	4.50
1984	435.80	11.76	1993	305.57	1.15
1985	335.57	2.72	1994	549.13	5.88
1986	555.70	9.85	1995	403.80	3.68
1987	349.67	1.34	1996	235.07	0.91
1988	316.17	3.61	1997	417.60	2.50
1989	370.53	1.14	1998	404.30	3.39
1990	427.90	2.61	1999	308.63	1.19

**Figure (I.5):** Relation Précipitation-Débit, période (1981/1999).

1.4.2.1 Corrélation précipitations - débits

A l'aide de l'Excel on a pu réaliser un nuage de points d'après les séries des débits et des précipitations dans la période (1981-1999), et pour déterminer la corrélation précipitations – débits on a tracé une courbe de tendance (Figure I.6).

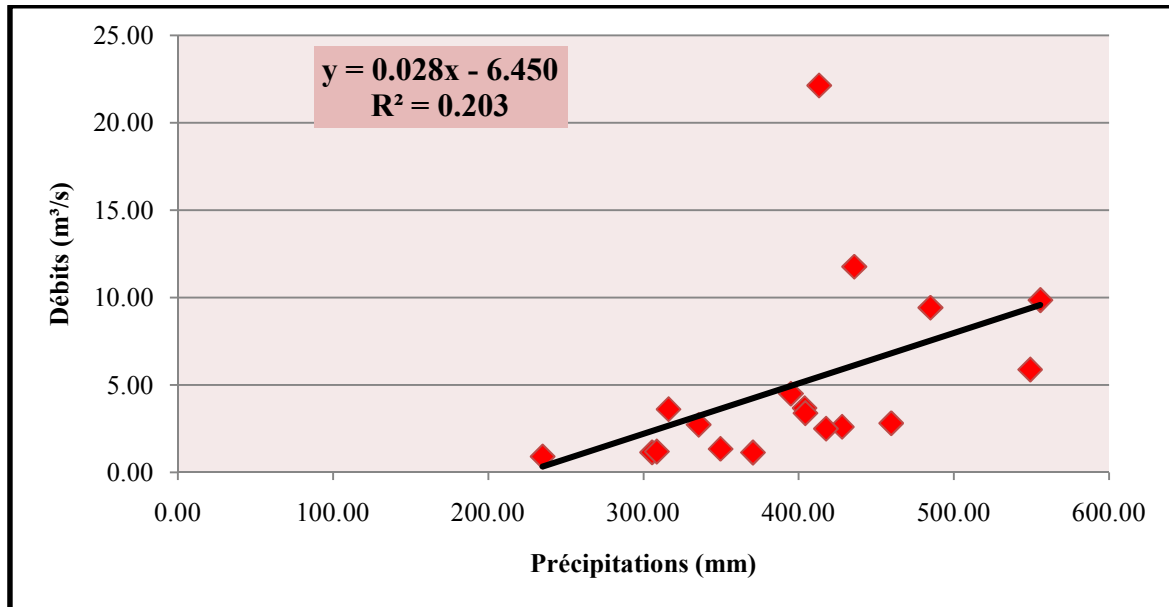


Figure (I.6): *Corrélation Précipitations-Débits.*

Nous constatons d'après le graphique de la figure (I.6) la bonne corrélation des paramètres précipitations moyennes et débits relatifs à la station de SIDI YAHIA pour la période (1981/1999).

La droite de régression a pour équation:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0.028 \times P \text{ (mm)} - 6.450 \quad (\text{I.5})$$

Avec

Q : Débit [m³/s] ;

P : précipitations moyennes [mm].

I.5 Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est le phénomène de retour d'eau vers l'atmosphère à partir de surface d'eau libre (lacs, rivières, mers,...etc.) et la transpiration des plantes. Elle englobe l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) cité dans (BENDAHDANE, 2010).

L'évapotranspiration dépend de nombreux facteurs:

- Température du sol, de l'air et de l'eau ;
- Rayonnement solaire;
- Vitesse du vent et pression atmosphérique;
- Nature et état de la végétation;
- Topographie et exposition du bassin versant;
- Hygrométrie de l'air.

Remarque :

En raison de la non-disponibilité de mesures d'évapotranspiration sur le site, nous utiliserons plusieurs formules empiriques pour l'estimation de l'ETP et l'ETR.

I.5.1 Formules de calcul de l'ETP

L'ETP peut être évaluée à l'aide de nombreuses formules (aissaoui, 2016), on peut citer : Thornthwaite, Serra, ...etc.

a) Formule de C.W. Thornthwaite

$$ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I_a} \right)^a \quad (I.6)$$

Où

$$I_a = \sum_{i=1}^{12} i \quad (I.7)$$

$$i_m = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (I.8)$$

Avec :

ETP : Évapotranspiration potentielle [mm];

T : Température moyenne annuelle [C°];

I_a : Indice thermique annuel;

i_m : Indice thermique mensuel;

a: Exposant climatique.

$$a = 0.492 + 1.79 * 10^{-2} * I - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 6.75 * 10^{-7} * I^3 \quad (I.9)$$

Les valeurs mensuelles de l'ETP ainsi calculées sont multipliées par un facteur de correction K qui tient compte à la fois du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de la latitude.

$$K = \frac{N}{30 * 12} \quad (I.10)$$

Avec :

N : durée Astronomique du jour pendant le mois considéré [h/j].

$$N = 362.7 + 0.210 * lat + (4.085 * lat - 80.99) * \cos(30.01 * i - 188.9) \quad (I.11)$$

Avec :

i : classement du mois ;

lat : latitude = 36°.

Les résultats du calcul sont portés dans le tableau (I.5):

Tableau (I.5): Valeurs de l'ETP calculées par la méthode de Thornthwaite.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
T (°C)	21.7	17.15	11.37	8.77	6.89	7.86	11.08	13.72	17.25	22.05	24.95	25.55
i	9.23	6.46	3.47	2.34	1.62	1.98	3.34	4.61	6.52	9.46	11.4	11.82
ETP	96.87	65.89	33.62	21.97	14.8	18.37	32.22	45.73	66.52	99.44	121.73	126.56
K	1.06	0.96	0.86	0.85	0.86	0.91	1	1.09	1.17	1.2	1.2	1.14
ETP Corrigé	102.68	63.26	28.91	18.68	12.73	16.71	32.22	49.84	77.83	119.32	146.08	144.28

b) Formule de Serra

C'est la même formule de Thornthwaite, mais avec des paramètres I et a différents que ceux utilisés précédemment :

$$ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I_a} \right)^a \quad (I.12)$$

Avec :

$$I_a = \sum_{i=1}^{12} i \quad (I.13)$$

$$i_m = 0.09 * T^{3/2} \quad (I.14)$$

$$a = \frac{1.6 * I}{100 + 0.5} \quad (I.15)$$

Les résultats obtenus par cette formule sont portés dans le tableau (I.6):

Tableau (I.6): Valeurs de l'ETP calculées par la méthode de Serra.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
T (°C)	21.7	17.15	11.37	8.77	6.89	7.86	11.08	13.72	17.25	22.05	24.95	25.55
i	9.1	6.39	3.45	2.34	1.63	1.98	3.32	4.57	6.45	9.32	11.22	11.62
ETP	56.61	43.32	27.15	20.22	15.37	17.85	26.37	33.62	43.61	57.65	66.34	68.15
K	1.06	0.96	0.86	0.85	0.86	0.91	1	1.09	1.17	1.2	1.2	1.14
ETP Corrigée	60	41.59	23.35	17.18	13.22	16.24	26.37	36.64	51.02	69.18	79.61	77.7

I.5.2 Formules de calcul de l'ETR

L'estimation de l'ETR est facilement accessible grâce à des formules empiriques qui utilisent les données faciles à quantifier comme la température et les précipitations (SARI AHMED, 2002).

a) Formule de Turc (1949)

Turc a proposé une relation entre le déficit hydrique, la pluie moyenne annuelle et la température moyenne annuelle :

$$\text{ETR} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (\text{I.16})$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^2 \quad (\text{I.17})$$

Avec :

ETR : Évapotranspiration réelle moyenne annuelle [mm];

P : Précipitation moyenne annuelle [mm];

P = 397.56 mm.

T = 15.695 ≈ 15.70 C°;

L : Pouvoir évaporant ;

L = 704.82.

L'évapotranspiration réelle : ETR = 390.21 mm, Soit 98.15 % des précipitations.

b) Méthode de Verdeil

En 1989, Verdeil a établi un abaque bi-logarithmique pour les régions arides et semi-arides où les précipitations ne dépassent pas les 600 mm, en tenant compte que des précipitations.

La projection de la moyenne annuelle des précipitations sur l'abaque de Verdeil nous donne un déficit qui est égale à 370 mm, et 93.07 % des précipitations (Figure I.7)

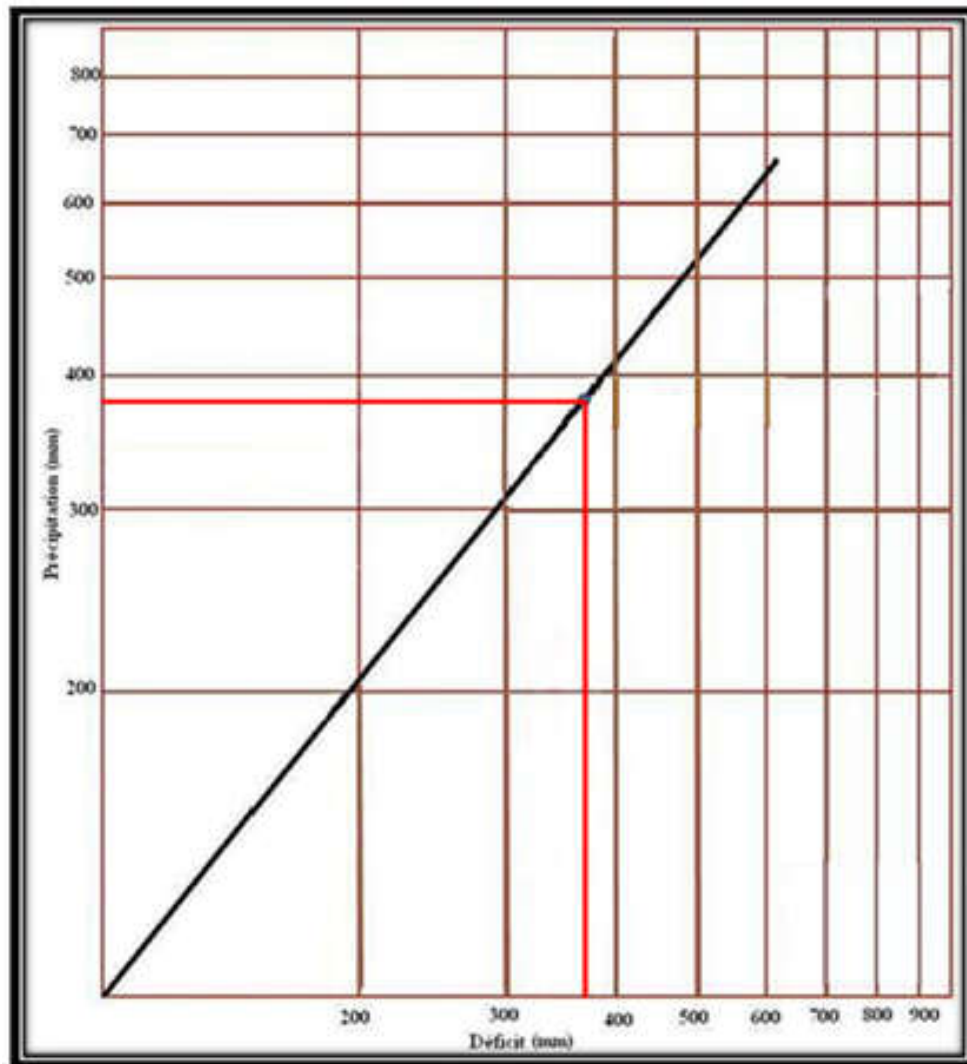


Figure (I.7): Projection des précipitations moyennes annuelles sur l'abaque de VERDEIL.

c) Méthode de Coutagne

$$\text{ETR} = P - \lambda P^2 \quad (\text{I.18})$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en [mm] ;

λ : Paramètre dépendant de la température.

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} \quad (\text{I.19})$$

Cette formule n'est valable que pour : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

$P = 397.56 \text{ mm}$ et $\lambda = 0.33$

$\frac{1}{8\lambda} = 0.38$ Et $\frac{1}{2\lambda} = 1.52$ ($0.38 < 0.357 < 1.52$).

Pour le cas de notre région, les précipitations sont moindres à la limite inférieure, donc cette formule n'est pas applicable ou inadaptée à ce type de climat.

d) Formule de Wundt (Graphique)

En utilisant l'abaque de Wundt (Figure I.8), on déduit une évapotranspiration réelle (ETR) de 377.78 mm, soit 95.02% des précipitations.

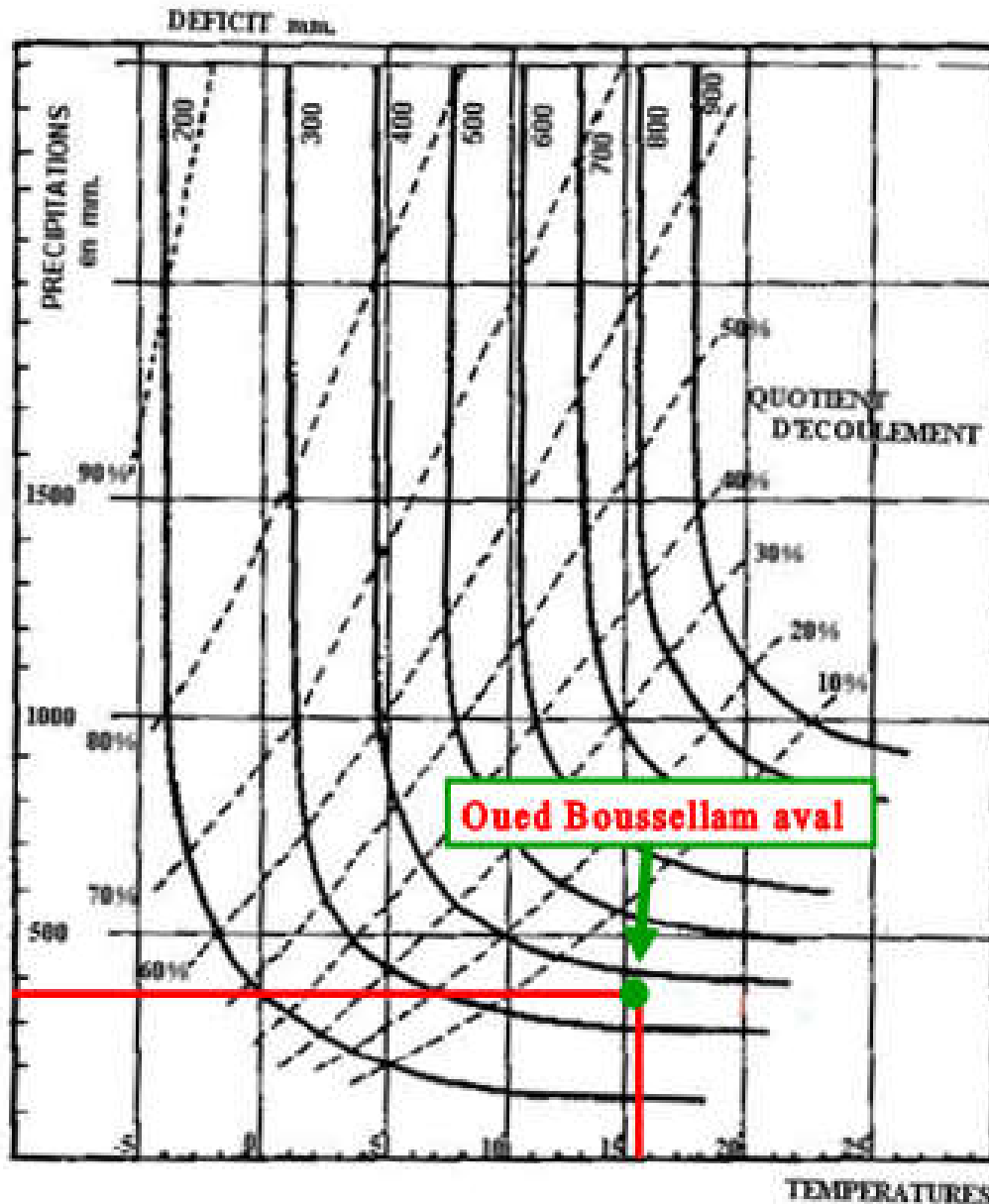


Figure (I.8): Abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR).

Pour la précipitation moyenne $P = 397.56$ mm (portée en ordonnées) et pour une température de $T = 15.70$ °C, cet abaque nous donne un déficit d'écoulement que l'on peut assimiler à l'ETR :

On obtient un déficit d'écoulement en ordonnées $D = ETR = 377.78$ mm.

Voici un tableau récapitulatif des valeurs de l'évapotranspiration (réelle et potentielle) calculée par les différentes méthodes (Tableau I.7).

Tableau (I.7): Récapitulation des valeurs de l'évapotranspiration.

Paramètre	Méthode	Année moyenne		Moyenne arithmétique (mm)
		mm	%	
ETP	Thornthwaite	812.55	/	662.33
	Serra	512.1		
ETR	Turc	390.21	98.15	383.89
	Coutagne	397.56	/	
	Wundt	377.78	95.02	
	Verdeil	370	93.07	

I.6 Bilan hydrologique

Un système hydraulique qui peut être un lac, une rivière, un aquifère, ou un bassin versant, comme notre cas, est conditionné par une équation de base permettant de distribuer les précipitations et qui s'écrit: Variation de stock = entrées - sorties .

Le calcul du bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que, les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration (aissaoui, 2016).

Le bilan s'écrit selon la formule :

$$P = ETR + R + I_f \quad (I.20)$$

Où :

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en [mm] ;

R : Ruissellement moyen annuel en [mm] ;

I_f : Infiltration moyenne annuelle en [mm].

I.6.1 Ruissellement superficiel

D'après la formule de Tixeront-Berkaloff, on peut calculer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Thornthwaite :

$$R = \frac{P^3}{3 * (ETP_c)^2} \quad (I.21)$$

AN :

$$R = \frac{(397.56)^3}{3 * (812.54)^2} = 31.72 \text{ mm}$$

Le tableau (I.8) indique le résultat du ruissellement superficiel.

Tableau (I.8): Résultat du ruissellement superficiel pour la station de SIDI YAHIA.

station	P (mm)	ETP _C (mm)	R (mm)	
SIDI YAHIA	397.56	812.55	31.72	7.98% des P

Avec

ETP_C : Evapotranspiration potentielle corrigé [mm].

I.6.2 Infiltration

L'infiltration est déduite à partir de l'équation principale du bilan.

$$P = ETR + R + I \quad \text{donc} \quad I = P - (ETR + R) \quad (I.22)$$

Pour la station SIDI YAHIA, les résultats de l'infiltration sont mentionnés dans le tableau (I.9).

Tableau (I.9): Résultats de l'infiltration.

Méthodes	P	ETR		R		I	
		mm	% des P	mm	% des P	mm	% des P
Turc	397.56	390.21	98.15	31.72	7.98	-24.37	/
Wundt		377.78	95.02			-11.94	/
Verdeil		370	93.07			-4.16	/
Coutagne		397.56	/			-31.72	/

Aucune méthode n'est vérifiée ($I < 0$).

I.7 Étude hydrodynamique

I.7.1 Présentation du barrage de Tichy-Haf [Bejaia]

Le projet de construction du barrage de Tichy-Haf s'inscrit dans le programme de construction des grands ouvrages lancés par l'état au début des années 80. Son aboutissement permettra de combler le déficit en eau des sept Daïras se trouvant sur la vallée de la Soummam, qui connaît une grande expansion démographique et une importante croissance industrielle (ahmane et bouzarari, 2005).

Le barrage de Tichy Haf (Figure I.9), dont la capacité annuelle est de 147 Hm³, constitue une véritable solution au problème du manque d'eau potable et industrielle dans le couloir Akbou-Bejaia.

L'aménagement du barrage de Tichy Haf entre dans le cadre du plan général de maîtrise des ressources en eau de l'Algérie (ahmane et bouzarari, 2005). Il est destiné à :

- L'alimentation en eau potable et industrielle des agglomérations situées sur le couloir Akbou-Bejaia.

- L'irrigation de périmètre du Sahel et de la Basse Soummam avec un volume de 43 Hm³/an.
- L'écêtement des crues de l'OUED BOUSSELLAM AVAL et par la même occasion leur réduction dans la vallée de la Soummam.



Figure (I.9): Vue globale du barrage de Tichy Haf.

I.7.2 Paramètres hydrodynamiques

Les caractéristiques hydrodynamiques des terrains permettent d'évaluer d'une part, leur facilité à laisser l'eau circuler lorsqu'ils sont soumis à un gradient, et d'autre part, leur capacité de charge hydraulique à emmagasiner de l'eau. Les paramètres qui décrivent ces caractéristiques sont respectivement la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement (sogreah, 2010). Les caractéristiques hydrodynamiques des terrains sont représentées ci-après :

➤ Transmissivité - perméabilité

Plusieurs essais de pompages ont été réalisés sur des puits de la plaine de la Soummam. Les données tirées des ces essais de pompages sont au total 40 valeurs.

Les valeurs de la transmissivité obtenues sont comprises entre 0.001 m²/s et 0.45 m²/s.

➤ Coefficient d'emmagasinement

Plusieurs pompages d'essai ont fait l'objet de suivi sur des ouvrages distants; ce qui a permis de calculer des coefficients d'emmagasinement.

Au total 9 valeurs de coefficient d'emmagasinement sont disponibles. Les valeurs obtenues sont comprises entre 0.01% et 12%.

Ce paramètre est lié à la nature de la nappe. On considère en effet, que le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de 10^{-2} pour une nappe libre alors qu'il est plutôt de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-3} pour une nappe captive.

Le coefficient d'emmagasinement décroît de l'amont de l'Oued vers l'aval. Selon la position dans la vallée, cette nappe est donc captive, semi captive ou libre. De Tazmalt à El kseur, elle est libre et d'El kseur à Bejaia, elle est captive.

Il décroît également de l'axe de drainage de la nappe vers les bordures de la vallée.

Aucune valeur de transmissivité ni d'emmagasinement n'est disponible pour les autres formations potentiellement aquifères (Moi-Pliocène).

➤ *Alimentation de la nappe du quaternaire*

L'alimentation de la nappe des alluvions du quaternaire revêt plusieurs aspects:

- La recharge via les précipitations ;
- La recharge par des oueds ;
- Les échanges potentiels entre les différents aquifères.

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une étude hydrologique, commençant par la description du sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL, puis en utilisant différentes méthodes et formules on a pu estimer l'ETR et l'ETP.

Les résultats de cette étude nous ont permis de déduire que :

- Les caractéristiques géomorphologiques du sous BV d' OUED BOUSSAELLAM AVAL dont la surface = 365.3 km^2 , le périmètre = 91.03 km , la longueur de talweg= 26.88 Km ;
- Le sous BV a une forme allongée ($K_C=1.33$) ;
- La longueur équivalente du sous BV est de 34.47 Km , et sa largeur est de 10.59 Km ;
- Le débit moyen annuel de la station SIDI YAHIA dans la période (1981-2007) est égale à $5.03 \text{ m}^3/\text{s}$;
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne est de l'ordre de 662.33 mm dans la période (1993-2008) ;
- L'évapotranspiration réelle (ETR) moyenne est de l'ordre de 383.89 mm dans la période (1993-2008) ;
- Les valeurs de la transmissivité obtenues sont comprises entre $0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ et $0.45 \text{ m}^2/\text{s}$;
- Les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont comprises entre 0.01% et 12% .

Chapitre II: Etude climatologique

*Chapitre II: Etude
climatologique*

II.1 Introduction

La région hydrographique de la Soummam est sous la dépendance de trois types de climat : climat littoral tempéré sur le cours inférieur de l'oued Soummam, climat de l'Atlas Tellien sur la moyenne Soummam et sur une partie du haut bassin de la Soummam (Oueds Sahel, cours inférieur de l'Oued Boussellam) et climat des hautes plaines sur le haut bassin de l'Oued Boussellam.

L'étude du climat est importante, elle repose sur l'interprétation des données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie, permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique qui influent d'une façon directe et à long terme sur le comportement des nappes aquifères.

II.2 Étude des précipitations

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations, surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale ;
- leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques ;
- leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues.

Les précipitations renouvellent les stocks d'eau et entretiennent l'écoulement dans les systèmes hydrologiques. L'unique source d'alimentation des nappes souterraines est l'eau des précipitations efficaces. L'évaluation de la ressource en eau souterraine sollicite une étude minutieuse des paramètres hydrologiques (bouannani, 2004).

Les différentes caractéristiques relatives aux stations pluviométriques sont regroupées dans le tableau (II.1):

Tableau (II.1): Différentes stations pluviométriques et leur code.

Station	Code	X (km)	Y (km)	Z (km)
SIDI YAHIA	15 09 04	672.1	348.5	255
BOUBIREK	15 07 03	698.6	354.5	500
IGHIL ALI	15 05 03	658.9	338.95	700

A l'aide du logiciel MapInfo on a pu situer les stations pluviométriques sur la carte du sous bassin versant de la Soummam. La figure (II.1) montre l'emplacement de ces stations par rapport à notre zone d'étude.

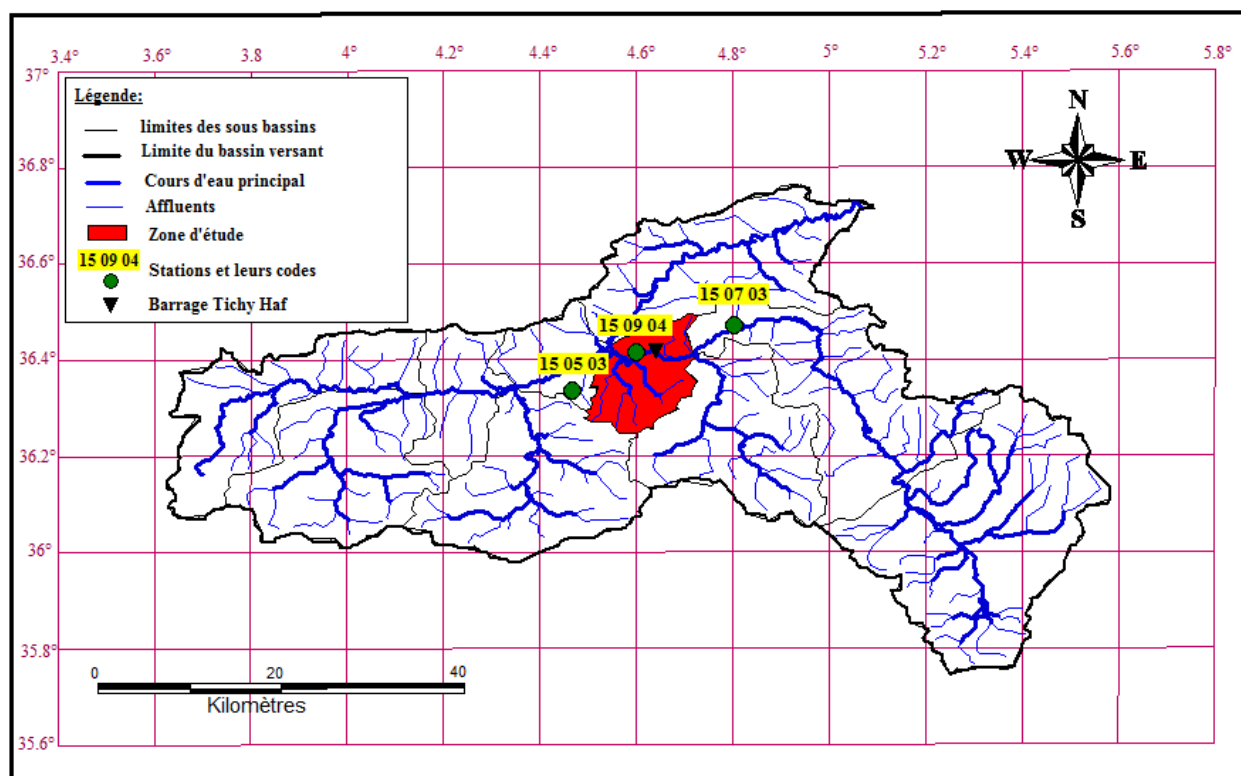


Figure (II.1): Emplacement des stations pluviométriques sur le bassin versant de la Soummam (Faite avec le logiciel MapInfo).

II.2.1 Variation interannuelle

Les données pluviométriques observées sur une période de 35 ans (1973/2007), ont été obtenues au niveau de l'ANRH. L'analyse de ces données est mentionnée en annexe (2).

Le tableau (II.2) donne la moyenne des précipitations annuelles.

Tableau (II.2): Variation interannuelle des précipitations aux différentes stations en (mm).

Années	SIDI YAHIA (15 09 04)	IGHIL ALI (15 05 03)	BOUBIREK (15 07 03)
moy	357.55	376.1	518.9

La figure (II.2) montre la variation moyenne interannuelle des précipitations de quelques stations (au niveau de la zone d'étude et son entourage).

Il en ressort de l'examen des graphiques de la figure (II.2) :

- Une nette concordance des variations inter- annuelles est constatée entre les 3 stations ;
- Une sensible augmentation des modules pluviométriques annuels d'Ouest en Est ;
- Le plus grand module pluviométrique est de 877.9 mm de la station BOUBIREK en 2002.

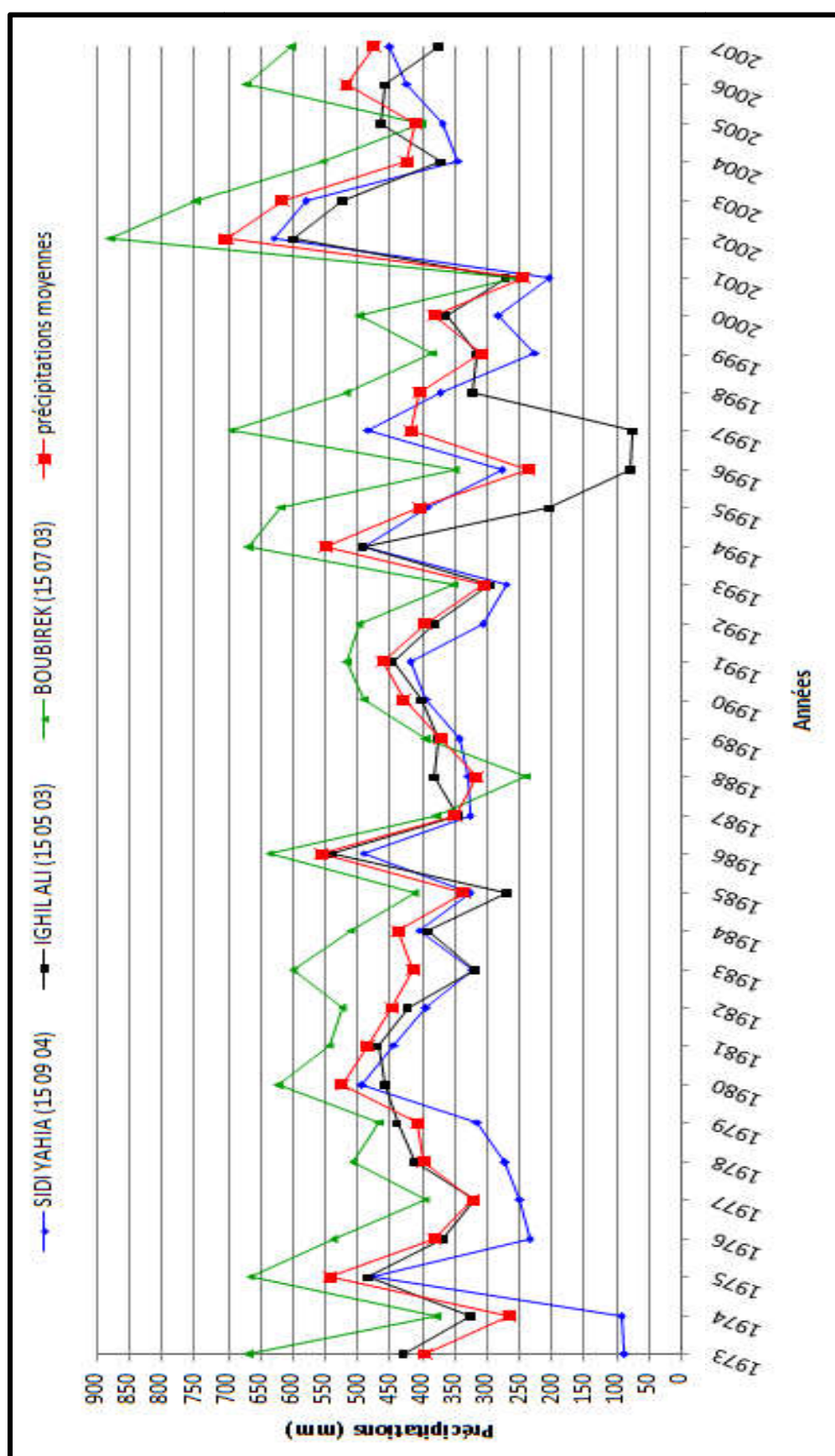


Figure (II.2): Variation des précipitations moyennes interannuelles aux différentes stations

II.2.2 Le coefficient pluviométrique

C'est le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne, il permet de distinguer les années déficitaires des années excédentaires (aissaoui, 2016):

- $H > 1$: Année excédentaire ;
- $H < 1$: Année déficitaire.

$$H = \frac{P_i}{P} \quad (II.1)$$

Avec

H : Coefficient pluviométrique ;

P_i : Pluviométrie d'une année donnée ;

P : Pluviométrie moyenne pour une période de N années.

Les résultats obtenus du coefficient pluviométrique se trouvent dans l'annexe (3).

Les tableaux (II.3) et (II.4) représentent les années déficitaires et excédentaires.

Tableau (II.3): Années déficitaires et excédentaires.

Années	SIDI YAHIA (15 09 04)	IGHIL ALI (15 05 03)	BOUBIREK (15 07 03)
1973	Déf	Excé	Excé
1974	Déf	Déf	Déf
1975	Excé	Excé	Excé
1976	Déf	Déf	Excé
1977	Déf	Déf	Déf
1978	Déf	Excé	Déf
1979	Déf	Excé	Déf
1980	Excé	Excé	Excé
1981	Excé	Excé	Excé
1982	Excé	Excé	Excé
1983	Déf	Déf	Excé
1984	Excé	Excé	Déf
1985	Déf	Déf	Déf
1986	Excé	Excé	Excé
1987	Déf	Déf	Déf
1988	Déf	Excé	Déf
1989	Déf	Déf	Déf
1990	Excé	Excé	Déf
1991	Excé	Excé	Déf
1992	Déf	Excé	Déf
1993	Déf	Déf	Déf
1994	Excé	Excé	Excé
1995	Excé	Déf	Excé
1996	Déf	Déf	Déf
1997	Excé	Déf	Excé

Tableau (II.4): *Années déficitaires et excédentaires (suite et fin).*

Années	SIDI YAHIA (15 09 04)	IGHIL ALI (15 05 03)	BOUBIREK (15 07 03)
1998	Excé	Déf	Excé
1999	Déf	Déf	Déf
2000	Déf	Déf	Déf
2001	Déf	Déf	Déf
2002	Excé	Excé	Excé
2003	Excé	Excé	Excé
2004	Déf	Déf	Excé
2005	Excé	Excé	Déf
2006	Excé	Excé	Excé
2007	Excé	Excé	Excé

D'après les résultats on remarque :

- Dix épisodes déficitaires pour toutes les stations (1974, 1977, 1985, 1987, 1989, 1993, 1996, 1999, 2000 et 2001) ; (1976, 1983 et 2004 sauf la station BOUBIREK) ; (1978, 1979, 1988 et 1992 sauf la station IGHIL ALI).
- Dix épisodes excédentaires pour toutes les stations (1975, 1980, 1981, 1982, 1986, 1994, 2002, 2003, 2006 et 2007) ; (1973 sauf la station SIDI YAHIA) ; (1984, 1990, 1991 et 2005 sauf la station BOUBIREK) ; (1995, 1997 et 1998 sauf la station IGHIL ALI).

II.2.3 Variation mensuelle

Le tableau (II.5) donne la moyenne mensuelle des précipitations.

Tableau (II.5): *Variation mensuelle des précipitations aux différentes stations en (mm).*

Stations	Code	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
SIDI YAHIA	15 09 04	11.28	12.61	14.22	18.01	12.37	15.1	15.27	13.98	12.23	5.06	3.69	4.71
BOUBIREK	15 07 03	33.9	33.4	53.2	85.3	68	67	62	56	40.6	10	3.1	6.2
IGHIL ALI	15 05 03	28.88	31.26	35.71	49.41	43.59	39.13	37.43	39.92	33.48	10.74	6.84	7.14
	Moy	24.69	25.76	34.38	50.91	41.32	40.41	38.23	36.63	28.77	8.6	4.54	6.02

Le tableau ci-dessus montre que les précipitations sont réparties suivant deux saisons distinctes, à savoir :

- Une saison pluvieuse, humide s'étalant du mois de Novembre à Avril, avec un maximum enregistré au mois de Décembre.
- Une saison sèche qui s'étend du mois de Mai à Octobre avec un minimum aux mois de Juillet et Août.

Pour analyser ces données, on peut les représenter sous forme d'histogramme pour chacune des 3 stations (Annexe 4).

La figure (II.3) montre la variation mensuelle des précipitations aux différentes stations.

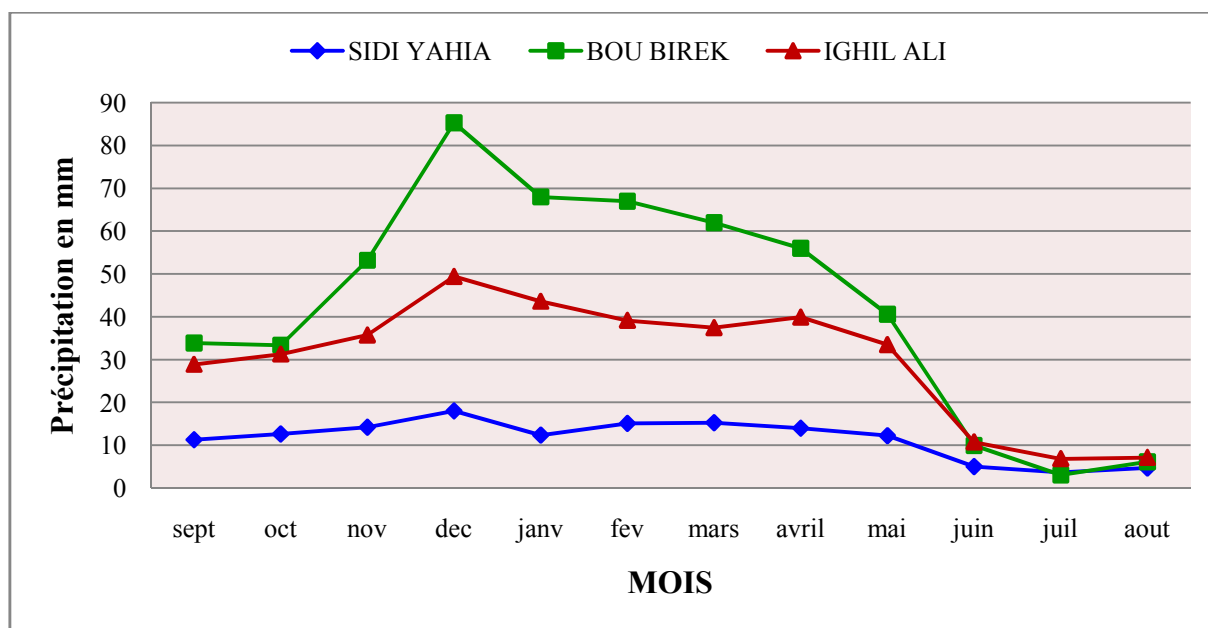


Figure (II.3): Variation mensuelle des précipitations aux différentes stations.

Il ressort de cette étude des précipitations mensuelles que le sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL est caractérisé par une pluviosité maximale pendant le mois de Décembre pour toutes les stations ; tandis que les mois de Juin, Juillet et Août sont secs (Figure II.3).

II.2.4 Répartitions saisonnières des précipitations

Pour distinguer les pluies saisonnières survenant dans des conditions de températures différentes. Nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel (Tableau II.6).

Tableau (II.6): Précipitations saisonnières (1993–2008), station de SIDI YAHIA.

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
P (mm)	37.52	31.15	41.55	59.12	61.4	37.96	41.09	39.37	27.82	5.98	4.33	10.31
P (mm) saisonnières	36.74			52.83			36.09			6.87		
P (%)	27.72			39.87			27.23			5.18		

La figure (II.4) montre la variation saisonnière des précipitations de la station pluviométrique SIDI YAHIA sur la période (1993-2008).

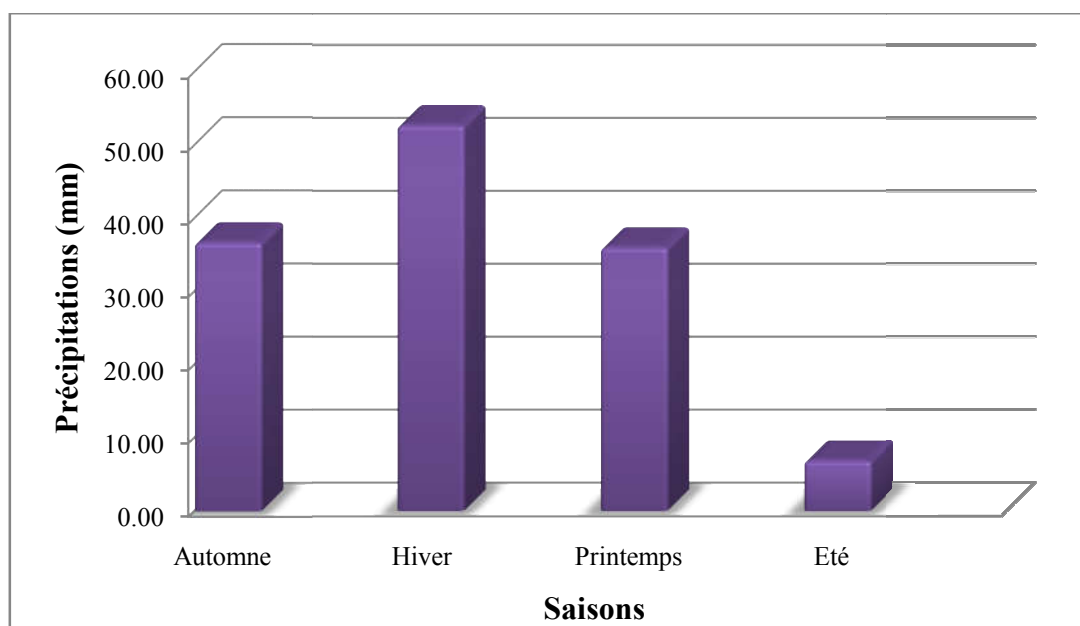


Figure (II.4) : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de SIDI YAHIA, période. (1993-2008).

La représentation saisonnière dans la figure (II.4) montre une variation normale des précipitations entre les quatre saisons où la saison la plus pluvieuse est l'hiver et la saison la plus sèche est l'été.

II.3 Températures

La station pluviométrique de SIDI YAHIA est située à 960 m d'altitude, en apportant les modifications faites par seltzer, on aura comme résultat le tableau (II.7) ci-dessous, cité dans (chaïbi et khedoussi, 2012).

Tableau (II.7): Températures moyennes maximales et minimales mensuelles de la station SIDI YAHIA (1993/2008).

Mois	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
min	2.37	2.41	8.06	8.33	11.8	15.7	18.8	19	16.1	10.5	7.04	5.73
Max	11.4	13.3	14.1	19.1	22.7	28.4	31.1	32.1	27.3	23.8	15.7	11.8
(min+Max)/2	6.89	7.86	11.08	13.72	17.25	22.05	24.95	25.55	21.70	17.15	11.37	8.77

La figure (II.5) présente la variation mensuelle des températures sur une période de 16 ans (1993-2008).

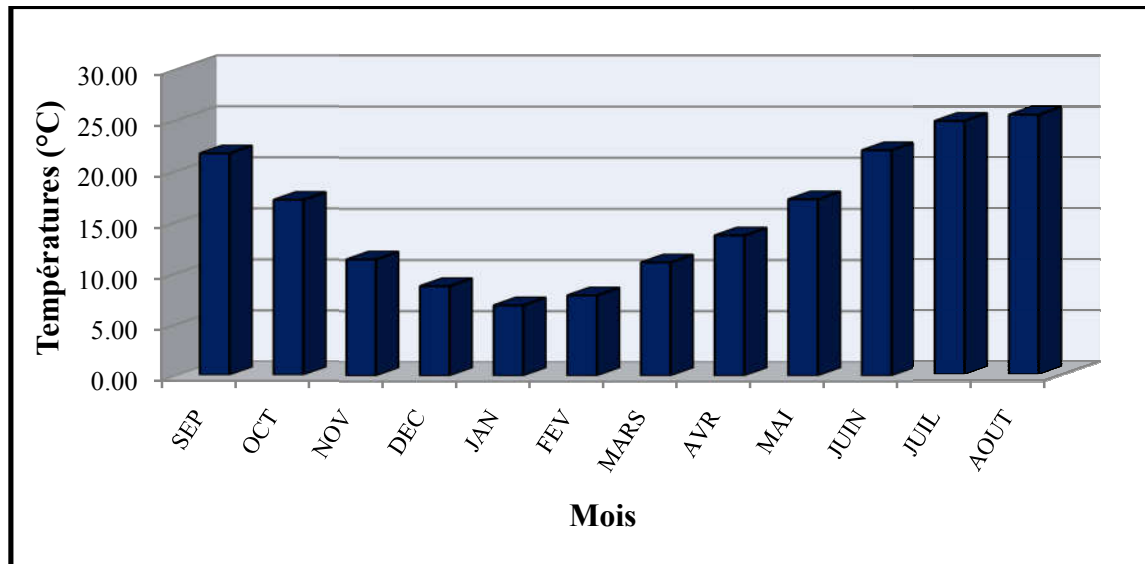


Figure (II.5): Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station de SIDI YAHIA, période (1993/2008).

Les températures minimales sont observées en Janvier, avec une moyenne de 6.89 C°. Les températures maximales sont relevées en Juillet et Août avec une pointe au mois d'Août, soit une moyenne de 25.55 C°, alors que l'année peut être divisée en deux saisons :

- ↪ La saison chaude s'étale de Juin à Octobre, les mois de Juillet et Août étant les plus chauds.
- ↪ La période froide s'étale de Novembre à Mai, Janvier étant le mois le plus froid.

II.4 Les indices climatiques

II.4.1 Méthode de GAUSSEN et BAGNOULS

Le diagramme est conçu de telle sorte que la pluviométrie (P) exprimée en millimètre est égale au double de la température moyenne mensuelle (T), exprimée en degré Celsius, soit $P = 2T$. D'après GAUSSEN et BAGNOULS, il y a sécheresse lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous (drouiche, 2014). Ainsi, le diagramme établi avec les données de la période (1993-2008) de la station de SIDI YAHIA (Figure II.6), montre l'existence d'une période humide, s'étalant du début Septembre à la fin Mai, et une période sèche durant les trois mois restants (Juin à Août).

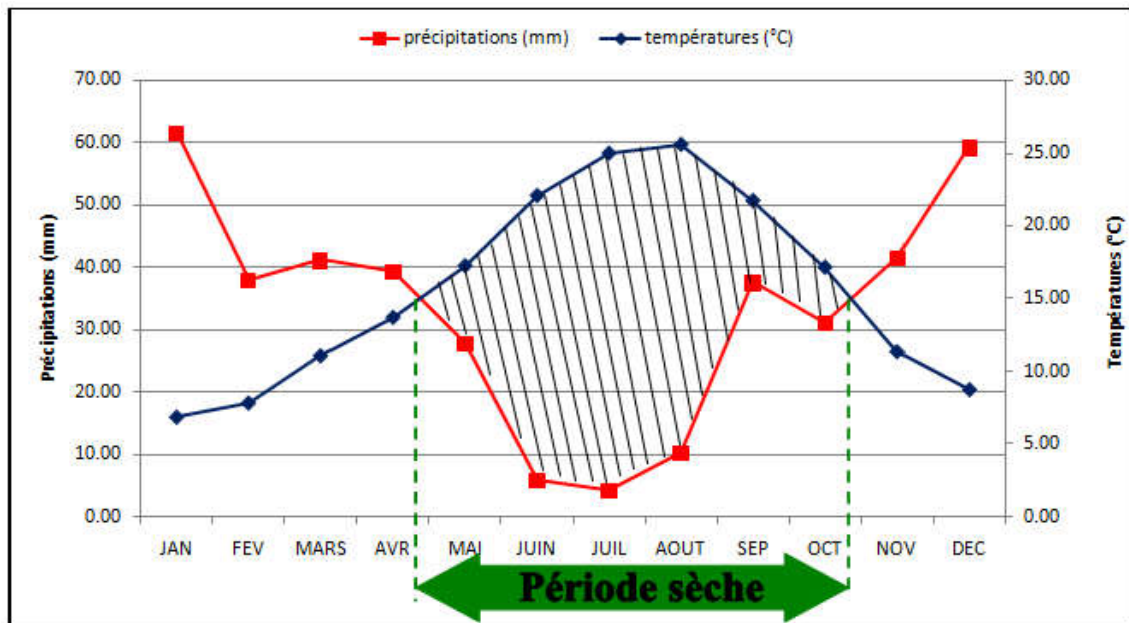


Figure (II.6): Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS du sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL.

II.4.2 Climagramme de Emberger

Emberger a défini un quotient pluviométrique qui permet de faire la distinction entre les différentes nuances du climat méditerranéen. Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond. Le Quotient d'Emberger (Q_2) est donné par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{100 P}{2 \left(\frac{M + m}{2} \right) (M - m)} \quad (II.2)$$

Où :

- Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger ;
- P : Précipitations annuelles exprimées en mm ;
- M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en ° ;
- m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °K ;

Ce quotient a été adapté au climat du territoire Nord-Africain (Maroc, Algérie et Tunisie) par Stewart en 1969. Il se calcule par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{3.43 P}{M - m} \quad (II.3)$$

Avec

- M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C ;
- m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

Calcul de Q_2 pour le sous bassin d'OUED BOUSSELLAM AVAL :

$$P = 397.56 \text{ mm}$$

$$M = 32.1 \text{ C}^\circ$$

$$m = 2.37 \text{ C}^\circ$$

$$Q_2 = \frac{3.43 P}{M-m} = \frac{3.43 * 397.56}{32.1 - 2.37} = 45.9$$

En tenant compte de la température minimale et en rapportant ce quotient sur le Climagramme d'Emberger (modifié par Stewart, 1969), on déduit que Le barrage Tichy-Haf, y compris la zone d'étude, se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Figure II.7).

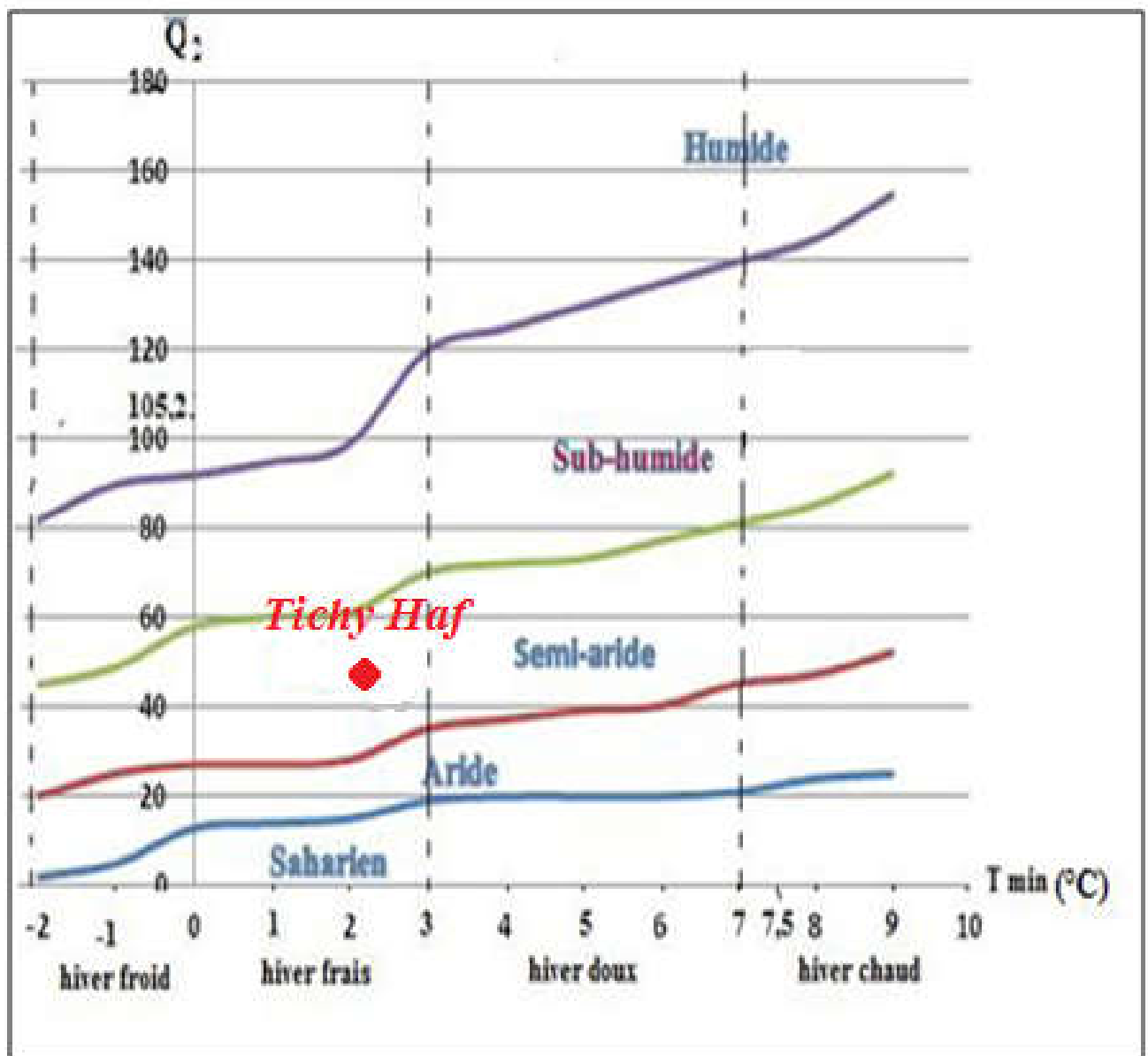


Figure (II.7): Situation bioclimatique du barrage Tichy Haf et la zone d'étude selon le Climagramme d'Emberger.

II.4.3 Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte)

Cette méthode est basée sur l'établissement d'un rapport entre les précipitations et les températures moyennes mensuelles (P/T) d'une même période. Le rapport (P/T) donne la valeur de l'humidité du sol et permet de définir quatre (04) types de régimes (drouiche, 2014) :

- $P/T < 1$: Régime très sec ;
- $1 < P/T < 2$: Régime sec ;
- $2 < P/T < 3$: Régime subhumide ;
- $P/T > 3$: Régime humide.

Les valeurs du rapport (P/T) représentées dans le tableau (II.8) permettent de connaître l'évolution de l'humidité du sol pendant l'année dans la région d'étude:

- Un régime très sec durant les mois de Juin, Juillet et Août ;
- Un régime sec durant les mois de Mai, Septembre et Octobre ;
- Un régime subhumide durant le mois d'Avril ;
- Un régime humide durant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars.

Tableau (II.8): Valeurs du rapport P/T pour la période (1993-2008) à la station de SIDI YAHIA.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
T (°C)	21.70	17.15	11.37	8.77	6.89	7.86	11.08	13.72	17.25	22.05	24.95	25.55
P (mm)	37.52	31.15	41.55	59.12	61.40	37.96	41.09	39.37	27.82	5.98	4.33	10.31
P/T	1.73	1.82	3.65	6.74	8.91	4.83	3.71	2.87	1.61	0.27	0.17	0.40

II.4.4 Indice d'aridité de De Martonne

➤ Annuel

L'indice d'aridité de De. Martonne, noté I, a permis de déterminer le degré d'aridité annuel de la région d'étude suivant la formule:

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (\text{II.4})$$

Avec

I : Indice d'aridité annuel ;

T : température moyenne annuelle (°C).

Les résultats de l'indice d'aridité annuel de De Martonne sont mentionnés dans le tableau (II.9).

Tableau (II.9): Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne.

T (°C)	P (mm)	I
15.7	33.13	1.23

L'indice d'aridité de De Martonne pour la zone d'étude est de l'ordre de $I = 1.23$ (Tableau II.9), reporté sur l'abaque de De Martonne (Figure II.8), indique un climat hyper aride.

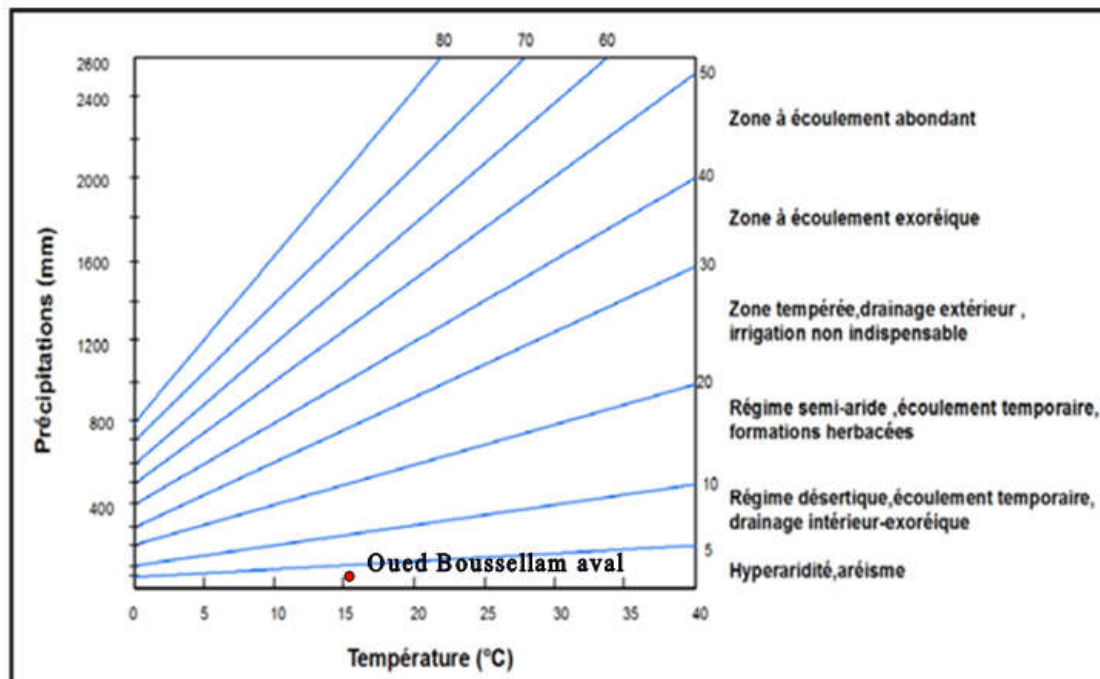


Figure (II.8): Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

➤ Mensuel

Aussi De Martonne a défini un Indice d'aridité mensuel par la formule suivante :

$$I = \frac{12 * p}{t + 10} \quad (II.5)$$

Où :

- p:** Précipitations moyennes mensuelles (mm) ;
- t:** Températures moyennes mensuelles (°C).

La valeur de l'indice de De Martonne permet de correspondre à chaque région un étage bioclimatique. On distingue, ainsi, les cas suivants :

- $I < 5$, climat hyper aride;
- $5 < I < 10$, climat désertique;
- $10 < I < 20$, climat semi-aride ;
- $20 < I < 50$, climat tempéré.

Les résultats mentionnés dans le tableau (II.10) montrent, à l'échelle mensuelle, l'existence de trois périodes bioclimatiques :

- Climat hyper aride aux mois : Juin, Juillet et Aout ;
- Climat semi-aride aux mois : Septembre, Octobre, Avril et Mai ;
- Climat tempéré aux mois : Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars ;

Tableau (II.10): Valeurs de l'indice de De Martonne mensuel.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
T (°C)	21.70	17.15	11.37	8.77	6.89	7.86	11.08	13.72	17.25	22.05	24.95	25.55
P (mm)	37.52	31.15	41.55	59.12	61.40	37.96	41.09	39.37	27.82	5.98	4.33	10.31
I	14.20	13.77	23.33	37.80	43.62	25.51	23.39	19.92	12.25	2.24	1.49	3.48

II.4.5 Indice de Moral

➤ Annuel

Cet indice est déterminé par la formule suivante:

$$IM = \frac{P}{T^2 - 10T + 200} \quad (II.6)$$

Où :

IM : Indice de Moral annuel ;

Cet indice permet de dire :

- Si : $IM < 1 \rightarrow$ climat sec ;
- Si : $IM > 1 \rightarrow$ climat humide.

L'application de cette formule nous a permis de dire que le sous bassin d'OUED BOUSSELLAM AVAL est caractérisé par un climat Sec ($IM=0.11$) (Tableau II.11).

Tableau (II.11): Indice d'aridité de Moral.

T (°C)	P (mm)	IM
15.7	33.13	0.11

➤ Mensuel

$$im = \frac{p}{0.1t^2 - t + 20} \quad (II.7)$$

Où :

Im : Indice de Moral mensuel ;

t : température moyenne mensuelle (°C).

Avec les conditions

- Mois pluvieux : $P > 0.1t^2 + t + 30$;
- Mois humide : $0.1t^2 + t + 30 > P > 0.1t^2 - t + 20$;
- Mois Sec : $0.1t^2 - t + 20 > P > 0.05t^2 - t + 10$;
- Mois aride : $0.05t^2 - t + 10 < P$.

Se : sec ; **Pl** : pluvieux ; **Hu** : humide ; **Ar** : aride.

L'application de cet indice montre que les mois de Décembre et Janvier sont des mois pluvieux, les mois de Novembre, Février, Mars et Avril sont Humides, ceux de Juin, Juillet et Août sont arides, et le mois de Mai est sec (Tableau II.12).

Tableau (II.12) : Valeurs de l'indice mensuel de Moral et le type de climat.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
P (mm)	37.52	31.15	41.55	59.12	61.40	37.96	41.09	39.37	27.82	5.98	4.33	10.31
T (°C)	21.70	17.15	11.37	8.77	6.89	7.86	11.08	13.72	17.25	22.05	24.95	25.55
im	0.83	0.97	1.93	3.12	3.44	2.07	1.94	1.57	0.86	0.13	0.08	0.17
$0.1t^2 + t + 30$	98.79	76.56	54.30	46.46	41.64	44.04	53.36	62.54	77.01	100.67	117.20	120.83
$0.1t^2 - t + 20$	45.39	32.26	21.56	18.92	17.86	18.32	21.20	25.10	32.51	46.57	57.30	59.73
$0.05t^2 - t + 10$	11.84	7.56	5.09	5.08	5.48	5.23	5.06	5.69	7.63	12.26	16.18	17.09
Type	Se	Se	Hu	Pl	Pl	Hu	Hu	Hu	Se	Ar	Ar	Ar

Sachant que les éléments climatiques les plus importants pour caractériser un climat sont les précipitations, les températures et l'évaporation; les méthodes combinant ces éléments sont plus intéressantes que celles qui incluent un ou deux éléments seulement.

II.5 Conclusion

L'étude climatologique du sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL situé au versant Sud-Est de la Chaîne des Bibans (Djebel Mansoura) nous a permis de déduire que le climat de la région d'étude qui a été déterminé par différentes méthodes, varie de hyper aride à tempéré.

La température moyenne annuelle proche de 15.7°C pour la période (1993-2008) avec un maximum de 25.55°C au mois d'Août et un minimum de 6.89°C au mois de Janvier ; alors que l'année peut être divisée en deux saisons :

- La saison chaude qui s'étale de Juin à Octobre, les mois de Juillet et Août étant les plus chauds.
- La période froide qui s'étale de Novembre à Mai, Janvier étant le mois le plus froid.

Le sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL est caractérisé par une pluviosité maximale pendant le mois de Décembre tandis que les mois de Juin, Juillet et Août sont secs, avec des précipitations moyennes annuelles de 397.56 mm.

partie 2: Etude hydro-chimique

*partie 2: Etude
hydro-chimique*

Chapitre III: Matériels et méthodes

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1 Introduction

L'étude de l'eau a pour objet de déterminer la possibilité de son utilisation pour satisfaire les différents besoins tel que l'irrigation, l'élevage, l'industrie, la consommation,...etc.

Dans ce chapitre on veut identifier la concentration des minéraux dissous dans l'eau, identifier la couleur de cette dernière, sa turbidité, sa dureté (calcaire), l'acidité et l'alcalinité (pH), les minéraux tels le fer et le manganèse, les chlorures, les nitrites et nitrates ainsi que les autres solides dissous, suite à une méthode scientifique appliquée au laboratoire selon un plan d'expérience, à partir d'un échantillon de l'eau.

III.2 Méthodes d'échantillonnage

L'objectif de l'échantillonnage, est de prélever un échantillon d'eau dont le volume est assez petit, pour être transporter facilement, mais suffisamment représentatif, pour que son analyse démontre les caractéristiques de l'ensemble où l'échantillon est prélevé. L'échantillon doit être manipulé de manière à ce que sa composition ne soit pas modifiée pendant le transport, et toutes les précautions possibles doivent être prises afin d'éliminer la contamination ou un changement de composition de l'échantillon, causé par la température ou les manipulations inadéquates.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, ...etc.).

Pour cela, l'échantillonneur doit respecter certaines recommandations qui sont :

- Les échantillons doivent être prélevés de préférences dans des flacons en verre ou des flacons en polyéthylène ;
- Les bouteilles utilisées pour l'échantillonnage doivent être rincées au moins trois fois avec de l'eau à prélever ;
- Les prélèvements se font à une profondeur de 5 à 10 cm de la surface de l'eau, en évitant la pénétration de l'air, et de ne pas touché le fond de la source avec les bouteilles, afin d'éviter de mettre en suspension des particules de sédiment qui risquent de contaminer l'échantillon ;
- Les bouteilles sont remplies jusqu'au bord. Le bouchon est placé de telle manière à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport ;
- Après la mise en flacons et l'étiquetage, l'échantillon doit être placé dans une glacière à 4°C, qui permet de le maintenir au frais ;
- Au laboratoire, les échantillons sont mis au réfrigérateur pour leur conservation (brais, 2009)

III.3 Technique de prélèvement

La technique de l'échantillonnage est primordiale car le prélèvement conditionne la pertinence et la fiabilité des résultats de l'analyse. Il doit être précis mais également le mieux planifié dans le temps et dans l'espace pour qu'il soit le plus représentatif de l'échantillon d'eau à étudier.

Les échantillons ont été prélevés au niveau de la zone d'étude, région d'Akbou (vallée de la Soummam) (Figure III.1) suivant trois campagnes d'échantillonnage qui ont été effectuées :

- Le 29/04/2019 à partir de 10h00.
- Le 06/05/2019 à partir de 08h00.
- Le 20/05/2019 à partir de 17h00.

Le tableau (III.1) montre les coordonnées longitudinales et latitudinales des points de prélèvements.

Tableau (III.1) : Coordonnées des points de prélèvements

points de prélèvements	longitudes (X°)	latitudes (Y°)
P1 (Rabhi Mourad)	4.54185	36.41672
P2 (Oued Boussellam)	4.54449	36.42532
P3 (Rabhi Mohamed)	4.54286	36.42573
P4 (Ait Bessai)	4.54454	36.41498
P5 (Amirouche Smail)	4.54201	36.42144
P6 (Sekherrou)	4.53882	36.42238
P7 (Bedjou Brahim)	4.536	36.42458
P8 (Ouakli Salah)	4.54177	36.42489
P9 (Bendahmane)	4.54123	36.42237
P10 (Bedjou)	4.54123	36.42293

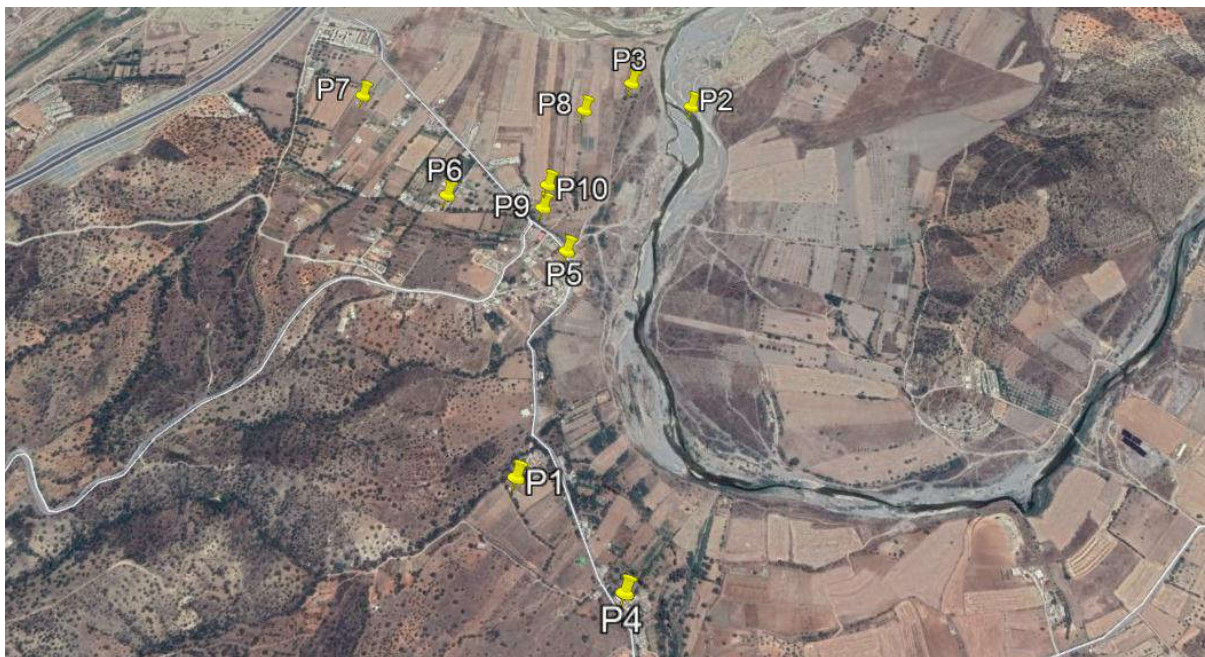


Figure (III.1): Points de prélèvements (Photo réalisé en utilisant Google Earth)

Le choix de ces échantillons se justifie, d'une part, par leur répartition spatiale et d'autre part, par l'importance des formations géologiques captées.

L'analyse chimique des échantillons a porté sur les éléments majeurs suivants :

- **Cations:** Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+
- **Anions:** Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}

III.4 Dosages et mesures effectués au laboratoire

III.4.1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux

III.4.1.1 Mesure de la température

Le paramètre température, exprimée en degré Celsius, joue un rôle très important dans la solubilité des sels, la dissociation des sels dissous et par conséquent la conductivité et le pH. Il a aussi une influence sur l'activité biologique des organismes vivant dans l'eau. Ce paramètre est influencé à la fois par la profondeur à laquelle se fait l'écoulement souterrain et également par la température de l'air du jour d'échantillonnage et de mesure (mihoubi, 2008).

La valeur de la température a été donnée par le PH-mètre (Figure III.2) lors de la mesure du PH.

III.4.1.2 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est, par définition, une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une eau. C'est une caractéristique qui témoigne à la fois de l'acidité et de la basicité d'une solution. La composition chimique et l'état d'équilibre dans lequel se trouvent les composantes de cette solution (mihoubi, 2008). C'est un élément important pour la détermination de la qualité de l'eau.

Le pH a été mesuré avec un pH-mètre dans le laboratoire d'analyse de la SEAAL (Figure III.2).



Figure (III.2): Photo d'un PH-mètre prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou.

III.4.1.3 La conductivité électrique

Par définition, c'est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. Donc, ce paramètre traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique, exprimé en micro siemens/cm et corrigé à une température de 20°C . Ce paramètre permet de donner une estimation sur la minéralisation totale de l'eau (sels dissous, matière organique) (mihoubi, 2008).

L'appareil utilisé pour mesurer la conductivité au laboratoire est un conductimètre (Figure III.3).



Figure (III.3): Photo d'un conductimètre prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou.

III.4.1.4 La turbidité

La turbidité d'une eau est la réduction de la transparence d'un liquide, due à la présence de matières en suspensions (MES) fines. Une turbidité forte est souvent signe de pollution, mais peut être aussi d'origine naturelle (développement planctonique, les argiles, les limons, les grains de silices) (samake, 2002).

Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (rodier, 2005).

On a mesuré la turbidité avec un turbidimètre HACH 21000 N (Figure III.4).



Figure (III.4): Photo d'un turbidimètre prise au niveau de l'ADE (Bejaia).

III.4.1.5 Mesure de la salinité

La minéralisation est la teneur en sels dissous dans l'eau. Elle représente l'ensemble des sels déterminés et est exprimée en mg/l, elle est en relation directe avec la conductivité (mihoubi, 2008).

La mesure de la salinité a été faite au niveau de l'université A. Mira de Bejaia à l'aide d'un appareil multi-paramètres (PH, conductivité, température, salinité et TDS) (Figure III.5).

Remarque :

On a mesuré les paramètres suivants : PH, CE, salinité, TDS de 24 échantillons extraits dans notre zone d'étude avec l'appareil multi-paramètres (Figure III.5)



Figure (III.5): Appareil multi-paramètres (www.Google.com)

III.4.1.6 Total des solides dissous (TDS)

Le TDS signifie le total des solides dissous. Exprimée en mg/l, il représente la concentration totale des substances dissoute dans l'eau. Il est composé de sel inorganique tel que (calcium, magnésium, potassium et sodium) et des carbonates (nitrates, bicarbonates, chlorure et sulfate) et ainsi que quelque matières organiques (FEPS, 2014).

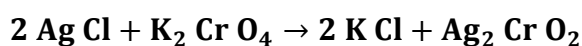
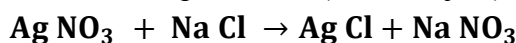
Ils proviennent de sources naturelles, ou de l'activité anthropique. L'influence la plus importante qu'exercent les solides dissous sur la qualité de l'eau est l'altération du goût. Le TDS a été mesuré de la même façon que la salinité.

III.4.2 Eléments chimiques

III.4.2.1 Dosage des chlorures (Cl^-)

➤ Principe

On fait agir au milieu neutre $PH + 6.7$ ou 7 , une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium. La réaction se fait en présence de chromate de potassium (ADE, Bejaia).



➤ **Réactifs**

- Solution de nitrate d'argent à 0.01 N ;
- Indicateur coloré K_2CrO_4 à 10 %.

➤ **Mode opératoire**

- Prendre 5 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre) ;
- Titrer avec $AgNO_3$ à 0.01 N jusqu'à coloration brunâtre (Figure III.6).

➤ **Mesure et calcul du résultat**

$$Cl^- = \frac{V_{AgNO_3} * N_{AgNO_3} * M_{Cl}}{V_{éch}} = \frac{V_{AgNO_3} * 0.01 * 35.5 * F * 1000}{5} \quad (III.1)$$

Avec :

V_{AgNO_3} : Volume d' $AgNO_3$;

N_{AgNO_3} : Normalité d' $AgNO_3$ égale 0.01 ;

M_{Cl} : Masse molaire de Cl égale 35.5 ;

F : Facteur de correction ;

$V_{éch}$: Volume de l'échantillon.

➤ **Exemple du premier échantillon**

$$Cl^- = \frac{V_{AgNO_3} * 0.01 * 35.5 * F * 1000}{5} = V_{AgNO_3} * 54.67 = 1022 \text{ mg/l}$$

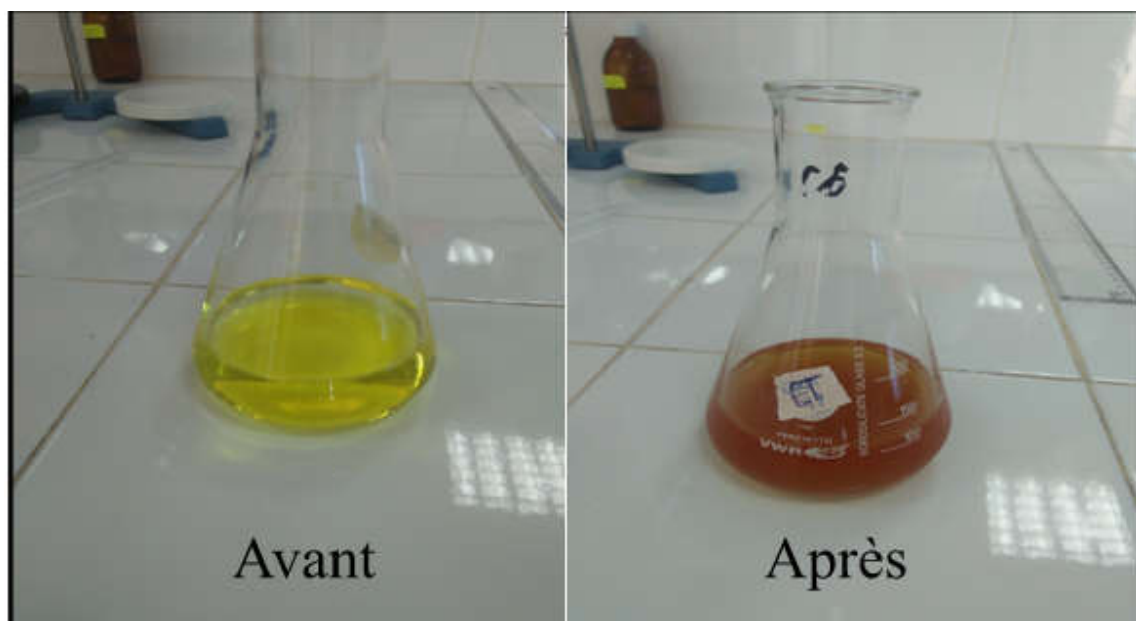


Figure (III.6): Couleur de l'échantillon avant et après titrage (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).

III.4.2.2 Dosage de la dureté calcique (Ca^{2+})

➤ Principe

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse EDTA à PH compris entre 12 et 13, ce dosage se fait en présence de MUREXIDE. L'EDTA, Réagit tout d'abord avec les ions de calcium, puis avec les ions de calcium combiné avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rose à la couleur violet (ADE, Bejaia).

➤ Réactifs

- Solution EDTA (0.02N) ;
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH 2N.

➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml de d'hydroxyde de sodium NaOH ;
- Ajouter un indicateur de coloration MUREXIDE ;
- Titrer avec l'EDTA jusqu'à l'apparition d'une couleur violet (Figure III.7).

➤ Mesure et calcul du résultat

La teneur en calcium est exprimée en mg/l et donnée par l'équation :

$$\text{Ca}^{++} = \frac{V_1 * N_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{Ca}^{++}} * 1000}{V_{\text{éch}}} = \frac{V_1 * 0.02 * F * 40 * 1000}{50 * 2} \quad (\text{III. 2})$$

Avec :

V_1 : Chute burette ;

N_{EDTA} : Normalité de L'EDTA égale 0.02 ;

F : Facteur de correction ;

$M_{\text{Ca}^{++}}$: Masse molaire égale 40 ;

$V_{\text{éch}}$: Volume de l'échantillon.

➤ Exemple du premier échantillon

$$\text{Ca}^{++} = \frac{V_1 * 0.02 * F * 40 * 1000}{50 * 2} = V_1 * 40 = 23 * 40 = 920 \text{ mg/l CaCO}_3$$

Pour déduire la valeur de Ca^{2+} , on fait la règle de trois :

$$M_{\text{CaCO}_3} \rightarrow M_{\text{Ca}^{2+}}$$

$$V_{\text{Ca}^{2+}(\text{CaCO}_3)} \rightarrow V_{\text{Ca}^{2+}}$$

$$\text{A. N} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 50 \rightarrow 20 \\ 920 \rightarrow V_{\text{Ca}^{2+}} \end{array} \right. \Rightarrow V_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{920 * 20}{50} = 368 \text{ mg/l}$$

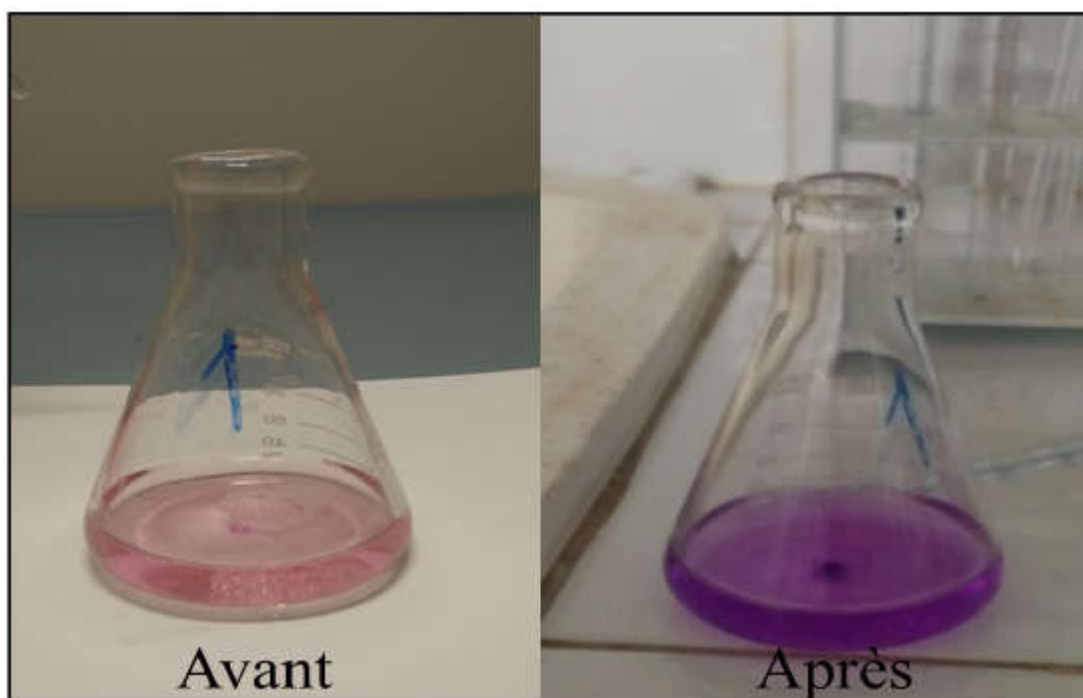


Figure (III.7): Couleur de l'échantillon avant et après titrage (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).

III.4.2.3 Dosage de la dureté totale (TH)

➤ Principe

Titration par complexométrie des ions de calcium et de magnésium avec une solution aqueuse de sel diosodique d'acide ethylene_diaminetétraacétique (EDTA) à un PH de 10.

L'indicateur est le noir Eriochrome T (NET) qui donne une couleur rose en présence des ions de calcium et de magnésium (ADE, Bejaia).

Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu.

➤ Réactifs

- Solution EDTA (0.02 N) ;
- Tampon ammoniacal NH_4OH ;
- Un indicateur de coloration le NET.

➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 0.8 ml de tampon ammoniacal ;
- Ajouter un indicateur de coloration le NET ;
- Titrer avec l'EDTA jusqu'à l'apparition d'une couleur bleu (Figure III.8).

➤ Mesure et calcul du résultat

Le résultat est exprimé en mg/l Ca CO_3 donné par l'équation suivante :

$$TH = \frac{V_1 * N_{EDTA} * F * M_{CaCO_3} * 1000}{V_{éch}} = \frac{V_1 * 0.02 * F * 100 * 1000}{50 * 2} \quad (III. 3)$$

Avec :

V_1 : Chute burette (ml) ;

N_{EDTA} : Normalité de L'EDTA égale 0.02 ;

F : Facteur de correction ;

M_{CaCO_3} : Masse molaire égale 100 (g/mol) ;

$V_{éch}$: Volume de l'échantillon (ml).

➤ **Exemple du premier échantillon**

$$TH = \frac{V_1 * 0.02 * F * 100 * 1000}{50 * 2} = V_1 * 40 = 39 * 40 = 1560 \text{mg/l } CaCO_3$$

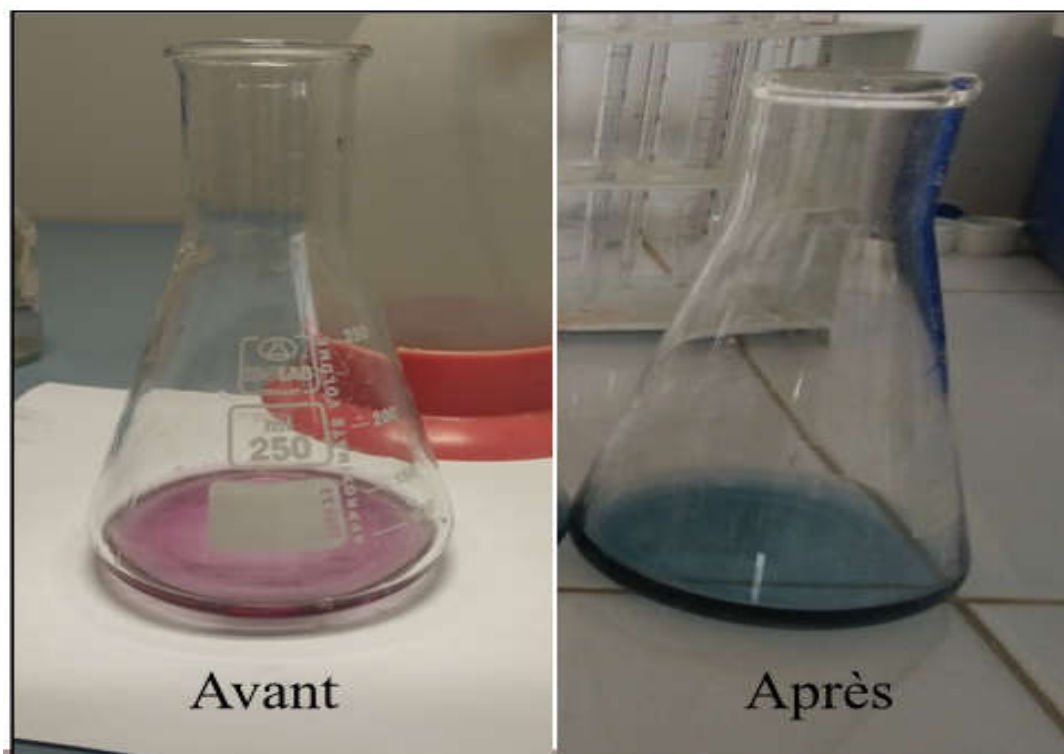


Figure (III.8): Couleur de l'échantillon avant et après titrage (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).

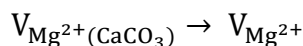
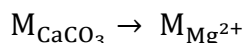
III.4.2.4 Dosage du magnésium (Mg^{2+})

Le taux du magnésium dans un échantillon se déduit à partir de la dureté totale et du taux de calcium (ADE, Bejaia).

$$V_{Mg^{2+}(CaCO_3)} = V_{TH(CaCO_3)} - V_{Ca^{2+}(CaCO_3)} \quad (III. 4)$$

➤ **Exemple du premier échantillon**

$$V_{\text{Mg}^{2+}(\text{CaCO}_3)} = 1560 - 920 = 640 \text{ mg/l (CaCO}_3\text{)}$$



$$\text{A.N} \Rightarrow \begin{cases} 50 \rightarrow 12.1 \\ 640 \rightarrow V_{\text{Mg}^{2+}} \end{cases} \Rightarrow V_{\text{Mg}^{2+}} = \frac{640 \cdot 12.1}{50} = 155 \text{ mg/l}$$

III.4.2.5 Dosage de l'alcalinité (HCO_3^-)➤ **Principe**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de PH = 8.3 et 4.3 le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) (ADE, Bejaia).

➤ **Réactifs**

- Acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37% ;
- Phénophtaléine (indicateur) ;
- Methyle orange (indicateur).

➤ **Mode opératoire TA**

- 50 ml d'eau à analyser ;
- 2 gouttes de phénophtaléine (indicateur) ;
- (Si aucune coloration n'apparaît TA=0).

➤ **Mode opératoire TAC**

- 50 ml d'eau à analyser ;
- 2 gouttes de Methyle orange (indicateur) ;
- Titrage avec HCl jusqu'à coloration jaune orangé (Figure III.9).

➤ **Mesure et calcul du résultat**

$$\text{HCO}_3^- = \frac{V_A * N_A * M_{\text{HCO}_3^-} * 1000}{V_{\text{éch}}} = \frac{V_A * 0.01 * 61 * 1000}{50} \quad (\text{III. 5})$$

Avec :

V_A : Chute burette ;

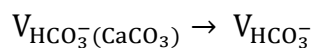
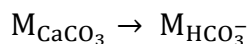
N_A : Normalité égale 0.01 ;

$M_{\text{HCO}_3^-}$: Masse molaire égale 61g/mole ;

$V_{\text{éch}}$: Volume de l'échantillon.

➤ **Exemple du premier échantillon**

$$\text{HCO}_3^- = \frac{V_A * 0.01 * 61 * 1000}{50} = 20 * V_A = 20 * 17.5 = 350 \text{ mg/l CaCO}_3$$



$$\text{A.N} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 50 \rightarrow 61 \\ 350 \rightarrow V_{\text{HCO}_3^-} \end{array} \right. \Rightarrow V_{\text{HCO}_3^-} = \frac{350 * 61}{50} = 427 \text{ mg/l}$$

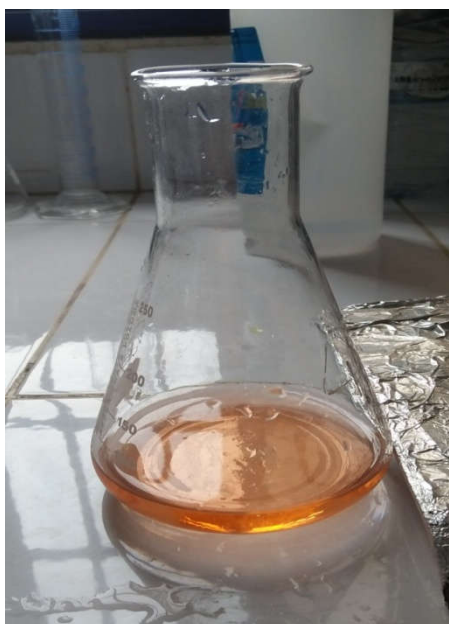


Figure (III.9): Apparition d'une couleur jaune orangé (Photo prise au niveau de l'ADE de Bejaia).

III.4.2.6 Dosage des Nitrites (NO_2)

➤ **Objet**

Le but de ce mode opératoire est la détermination de la concentration des Nitrites dans un échantillon donné. Le dosage de ce dernier est réalisé par un réactif coloric NO_2 (SEAAL, TIZI OUZOU).

➤ **Principe**

- Mettre 40 ml d'eau de chaque échantillon dans des fioles de 50 ml ;
- Ajouter 1 ml de réactifs coloric NO_2 dans chacune des fioles ;
- Ajuster avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ;
- Fermer les fioles, agiter délicatement et laisser 20 min (Figure III.10) ;

Remarque :

L'apparition d'une couleur rose indique une forte présence de Nitrite (NO_2).

- Utiliser l'appareil HACH (méthode HACH) pour mesurer le taux de NO_2 de chaque échantillon (Figure III.11).



Figure (III.10): Dosage de NO_2 (Photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).



Figure (III.11): Appareil HACH (Photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).

III.4.2.7 Dosage des Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates dans l'eau potable sont considérés comme un contaminant majeur. Ils sont, aujourd'hui, fréquemment constatés dans les aquifères. Dans les régions arides et régions semi-arides (girard et hillaire, 1997).

La méthode utilisée pour la détermination de NO_3^- est la méthode HACH.

➤ Principe

- Ajouter un réactif chimique aux échantillons ;
- Agiter jusqu'à apparition d'une couleur rose (Figure III.12) ;
- Laisser pendant 15 minutes ;
- Faire passer dans l'appareil HACH (Figure III.11).

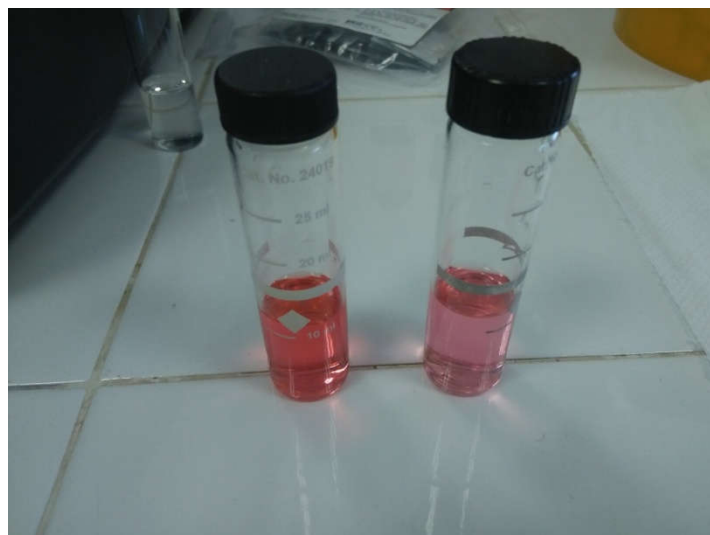


Figure (III.12): Dosage de NO_3^- (photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).

III.4.2.8 Dosage des sulfates (SO_4^-)

Les sulfates ont des origines très diverses: roches sédimentaires (gypse), minerais, engrais, transformations chimiques et biochimiques de SO_2 , H_2S , etc. (bouziane et labadi, 2009)

La méthode utilisée pour la détermination de NO_3^- est la méthode HACH.

➤ Principe

- Ajouter un réactif chimique aux échantillons ;
- Agiter jusqu'à apparition d'une couleur blanche (Figure III.13) ;
- Laisser pendant 15 minutes ;
- Faire passer dans l'appareil HACH (Figure III.11).



Figure (III.13): Dosage de SO_4^- (photo prise au niveau de la SEAAL, Tizi Ouzou).

III.4.2.9 Dosage de Sodium (Na) et de Potassium (K)

➤ Objet

Le but de ce protocole est de déterminer le taux de Sodium (Na) et de potassium (K) dans un échantillon donné, en utilisant l'appareil : « Specto-photomètre à flamme » (Figure III.14) (ADE, Tizi Ouzou).

➤ Principe

✚ Pour le Sodium (Na)

- Diluer 1 ml de chaque échantillon dans 100 ml d'eau distillée ;
- Faire passer dans l'appareil les solutions obtenues pour déterminer le taux de Na dans chaque échantillon.

✚ Pour le potassium (K)

- Faire passer les échantillons dans l'appareil pour déterminer le taux de K ;
- Dans le cas où la valeur donnée dépasse la gamme de l'appareil (dans notre cas 10 mg/l), on fait la dilution en prenant 50 ml d'eau de l'échantillon et 50 ml d'eau distillée ;
- Remesurer le taux de potassium (K).



Figure (III.14): Specto-photomètre à flamme (www.Google.com).

Remarque :

Les expériences effectuées pour déterminer le taux des éléments tels que l'Ammonium (NH_4^+), Matières Organiques, la couleur, Fer total, Fluorure (F^-), Bromure (Br^-), Iodure (I^-) et le résidu sec, ont été réalisées au niveau du laboratoire d'analyse situé à Tichy Haf, ce qui ne nous a pas permis d'assister au déroulement des manipulations.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a cité les différents appareils et les différents protocoles qu'on a utilisé pour l'analyse des échantillons d'eau extraits dans la zone d'étude.

Cette analyse a été faite au niveau de différents laboratoires d'analyses : laboratoire de la SEAAL à Tizi Ouzou, laboratoire de l'ADE de Bejaia, le laboratoire de l'ADE de Tizi Ouzou et le laboratoire de Tichy Haf. Quelques analyses ont été également réalisées au niveau de l'université A. Mira de Bejaia.

Les résultats de ces analyses sont abordés et interprétés dans le chapitre résultats et discussions.

Chapitre IV: Résultats et discussions

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1 Introduction

L'étude hydro-chimique sera consacrée à l'interprétation des résultats d'analyses d'échantillons d'eau prélevés sur le terrain, cette étude a pour but :

- De déterminer la répartition quantitative de différents éléments chimiques majeurs, dissous dans l'eau, et de suivre leurs évolutions ;
- D'apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution de la qualité chimique de eaux ;
- L'origine des fortes teneurs en sel dessous de nos échantillons.

IV.2 Résultats des analyses

Les résultats d'analyses sont portés sur diagrammes semi-logarithmique (Schoeller-Berkaloff) et losangique (PIPER), ce qui va nous permettre d'avoir une classification graphique des eaux et de les comparer entre elles.

Le tableau (IV.1) présente les résultats d'analyses d'un échantillon (P1), les résultats des autres échantillons sont mentionnées dans l'annexe (6).

Tableau (IV.1) : Résultats d'analyses d'un échantillon

Paramètres	Unité	P1 (Rabhi Mourad)	Paramètres	Unité	P1 (Rabhi Mourad)
Couleur	mg/l Echelle Pt	***	Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	mg/l	***
PH	/	7.107	Total des solides dissous (TDS)	mg/l	0.97
Conductivité électrique (CE)	MS/cm	2210	Salinité (S)	%	0.9
Turbidité (Trd)	NTU	1.53	Résidu sec	mg/l	***
Température (T)	°C	16.1	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	***
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.006	Matières Organiques	mg/l	***
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	4.06	Fer total (Fe)	mg/l	***
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	368	Fluorures (F ⁻)	mg/l	***
Magnésium (Mg ⁺⁺)	mg/l	155	Bromures (Br ⁻)	mg/l	***
Dureté totale (TH)	mg/l CaCO ₃	1560	Iodures (I ⁻)	mg/l	***
Sodium (Na ⁺)	mg/l	1170	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	114
Potassium (K ⁺)	mg/l	4	Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l	350
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	1022	Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg/l	427

Les résultats des analyses effectuées sur les 24 échantillons avec l'appareil multi-paramètres sont mentionnés dans l'annexe (5).

IV.3 Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines

IV.3.1 La température (T)

Elle active la mise en solution des sels minéraux (excepté, Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3), la dissolution de sels dissous dans l'eau et conditionne la solubilité des gaz. Elle favorise l'activité des micro organismes et la décomposition de la matière organique qui produit le CO_2 nécessaire à la mise en solution des carbonates. En outre, elle peut nous renseigner sur l'origine des eaux et sur la profondeur de circulation, la variation de la température au niveau des points de prélèvements est montrée dans la figure (IV.1).

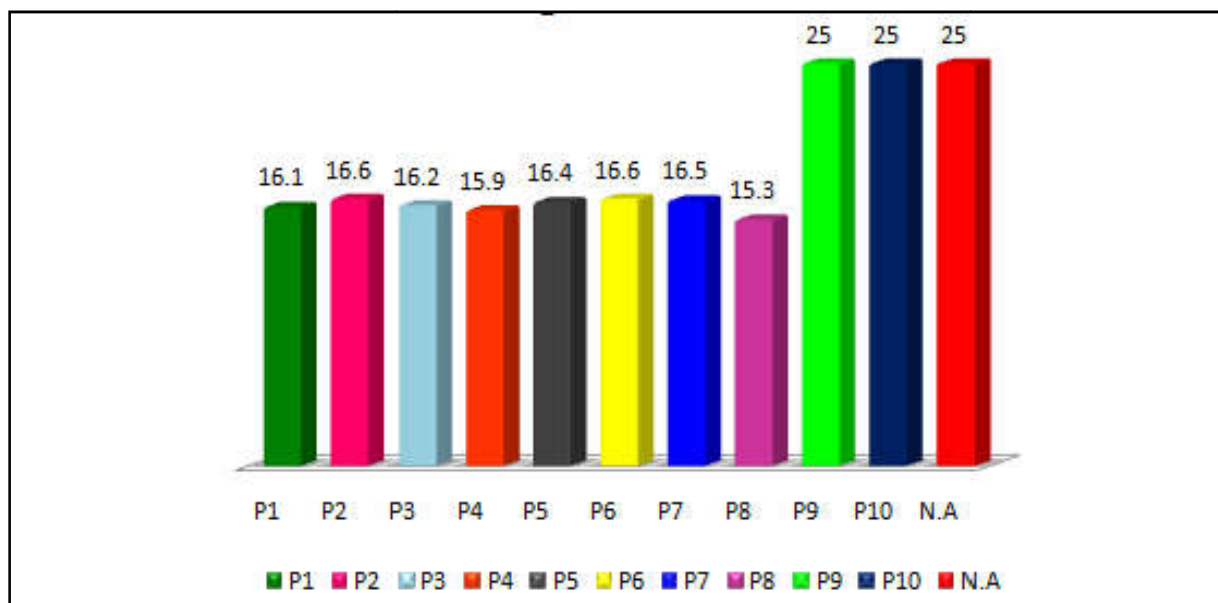


Figure (IV.1): Variation de la température de l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.3.2 Le pH

Le Potentiel d'Hydrogène est défini comme étant le cologarithme ou l'inverse du logarithme de la concentration en ions H^+ . Il varie légèrement avec la température, les périodes d'activités biologiques. Il détermine l'acidité ou la basicité de l'eau et règle l'équilibre carbonique dans la formation des Carbonates.

Les pH mesurés des eaux de la source sont conformes aux normes algériennes de potabilité (6.5 - 9). Celui mesuré est de 7.007 à 7.742 (Figure IV.2), donc notre eau est faiblement acide.

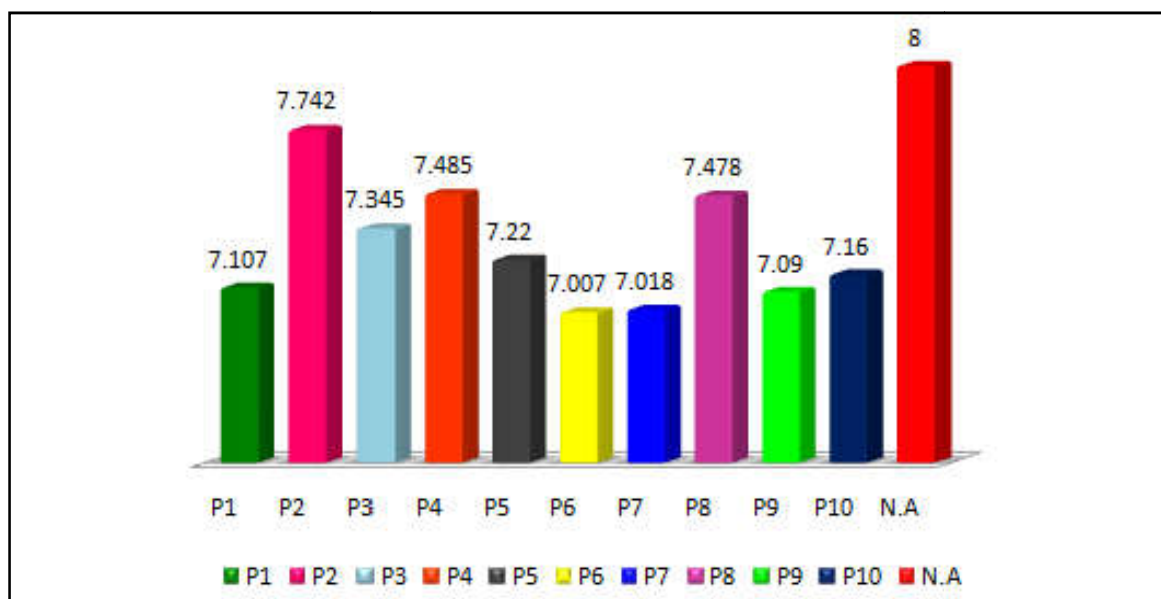


Figure (IV.2): Variation du PH de l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.3.3 La conductivité électrique (CE)

La conductivité d'une eau traduit le degré de minéralisation de l'eau, elle est d'autant plus élevée que le degré de minéralisation est important. Elle constitue une bonne appréciation des matières en solution.

Les valeurs de conductivité mesurées (Figure IV.3) est de l'ordre de 859 à 10480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les points d'eau, ce qui reflète que les eaux sont très conductrices avec une forte valeur.

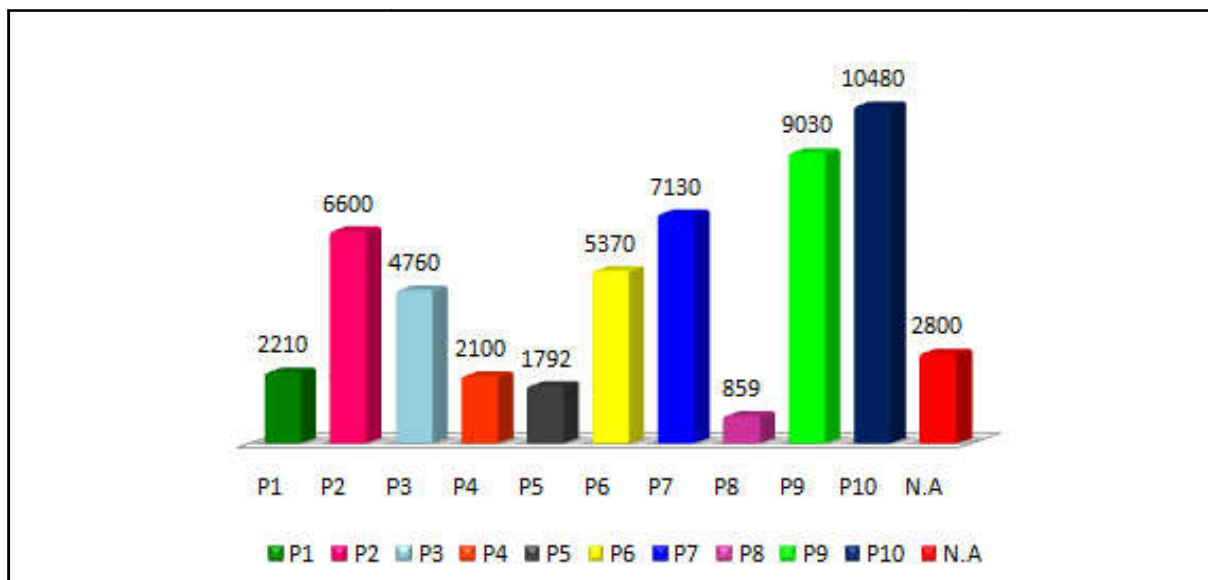


Figure (IV.3): Variation de la conductivité de l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4 Analyse des éléments chimiques

IV.4.1 Les chlorures

Les teneurs en Chlorures des eaux analysées (Figure IV.4) ont des valeurs comprises entre 197 et 5248 mg/l.

Nous remarquons une certaine correspondance entre les teneurs en Chlorures et les valeurs des conductivités.

Les Chlorures rencontrés en grandes quantités dans les eaux souterraines peuvent provenir :

- De la dissolution des sels naturels par lessivage de terrains salés (évaporites) ;
- De l'évaporation intense, dans les points d'eau où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol ;
- Des rejets d'eau usée d'origine domestique et industrielle ;
- Des engrais chimiques et pesticides utilisées en agricultures.-

En l'absence des apports cités ci-dessus, les eaux souterraines ne contiennent généralement que de faibles quantités en chlorures dont l'origine marines et au lessivage des formations géologiques par les eaux d'infiltration.

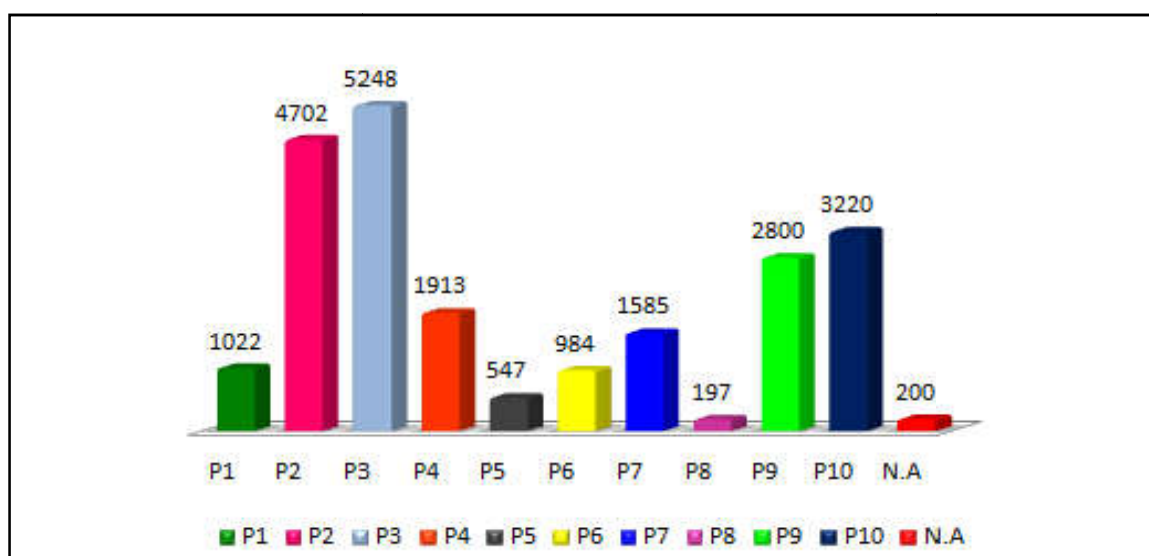
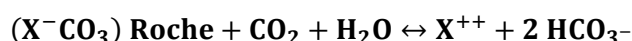


Figure (IV.4): Variation des teneurs en chlorures dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4.2 Bicarbonates

Les teneurs en Bicarbonates des eaux analysées (Figure IV.5) sont de 266 à 732 mg/l.

Les Bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique suivant cette équation :



Leurs concentrations dans l'eau sont fonction des paramètres suivants :

- Tension du CO₂, dissous ;
- Température de l'eau ;
- pH de l'eau ;
- Concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

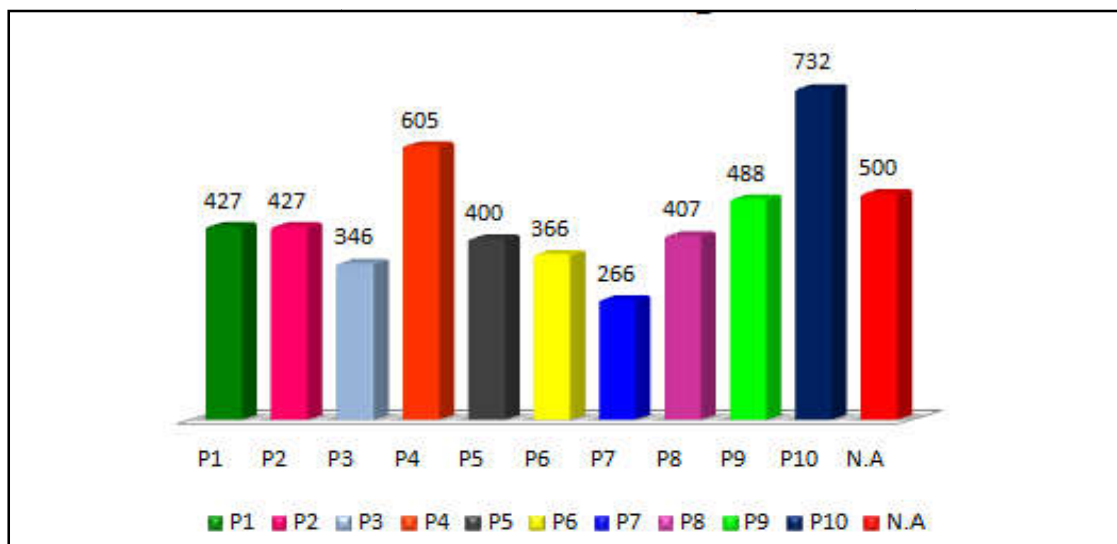


Figure (IV.5): Variation des teneurs en bicarbonates dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4.3 Les teneurs en Sulfates

Les teneurs en Sulfates (Figure IV.6) varient de 114 mg/l à 417 mg/l.

Les Sulfates des eaux souterraines peuvent provenir :

- De rejets d'eaux usées d'origine industrielle et du lessivage des engrais dans les terrains agricoles ;
- De l'oxydation des Sulfures.

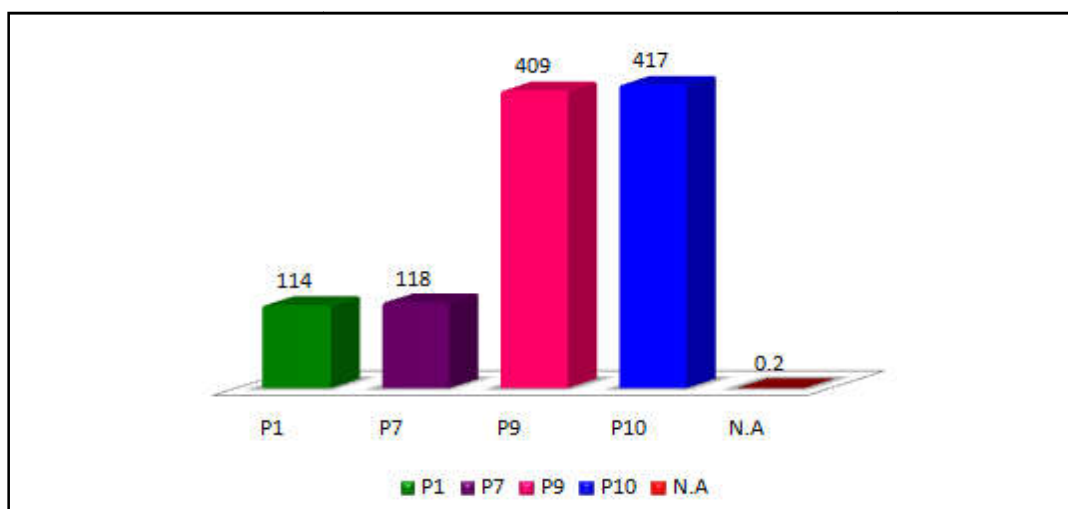


Figure (IV.6): Variation des teneurs en sulfates dans l'eau dans quelques points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4.4 Les teneurs en Nitrates

Les valeurs en Nitrates sont de 1.36 mg/l à 31.7 mg/l pour les eaux souterraines de la zone d'étude. Notons que les zones où les teneurs en Nitrates dépassent 40 mg/l correspondent aux zones à forte activité agricole.

Les Nitrates peuvent provenir (Figure IV.7), en faibles quantités, de la nitrification de l'Azote organique des sols par les bactéries et de l'oxyde d'azote atmosphérique provenant des pluies.

En teneurs plus élevées, ils sont liés aux apports d'engrais chimiques et organiques et aux rejets d'eaux usées d'origine domestique et industrielle.

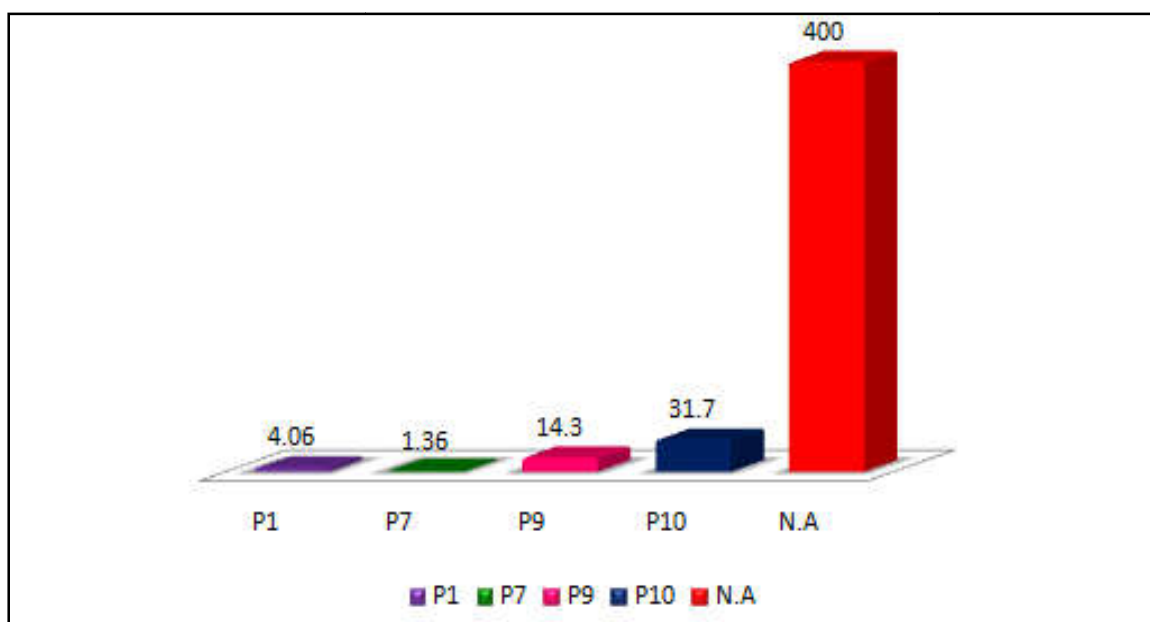


Figure (IV.7): Variation des teneurs en Nitrates dans l'eau dans quelques points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4.5 Les teneurs en Sodium

Les concentrations en Sodium varient de 24 à 1650 mg/l.

Le Sodium présente plusieurs origines étant donné la solubilité de ses sels (Figure IV.8), il peut, donc, provenir :

- Du lessivage des formations géologiques riches en $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$;
- De la décomposition des sels minéraux (Silicates) ;
- Des venues d'eau salée dans la nappe ;
- Des retombées d'origine marine et des rejets d'eaux usées.

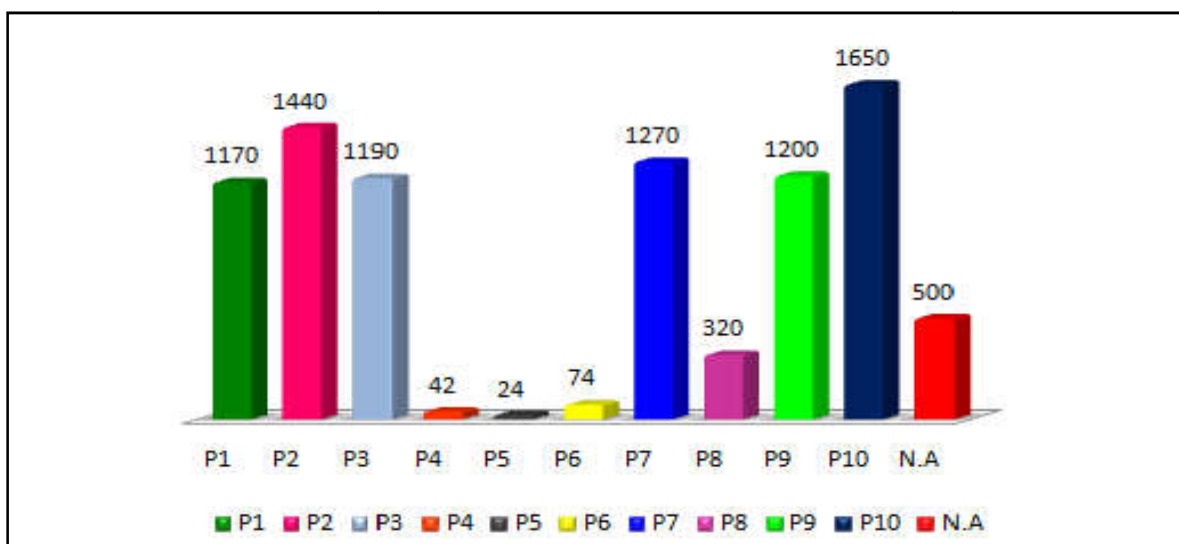


Figure (IV.8): Variation des teneurs en sodium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4.6 Les teneurs en Magnésium

La teneur maximum en Magnésium est de 319 mg/l.

La présence du Magnésium dans les eaux souterraines (Figure IV.9) est liée à la nature géologique des formations captées. Il peut provenir :

- De l'attaque des roches magnésiennes par les gaz carbonique ;
- Du lessivage des roches volcaniques ;
- De la dissolution du $Mg SO_4$ dans les terrains gypseux et pyriteux.

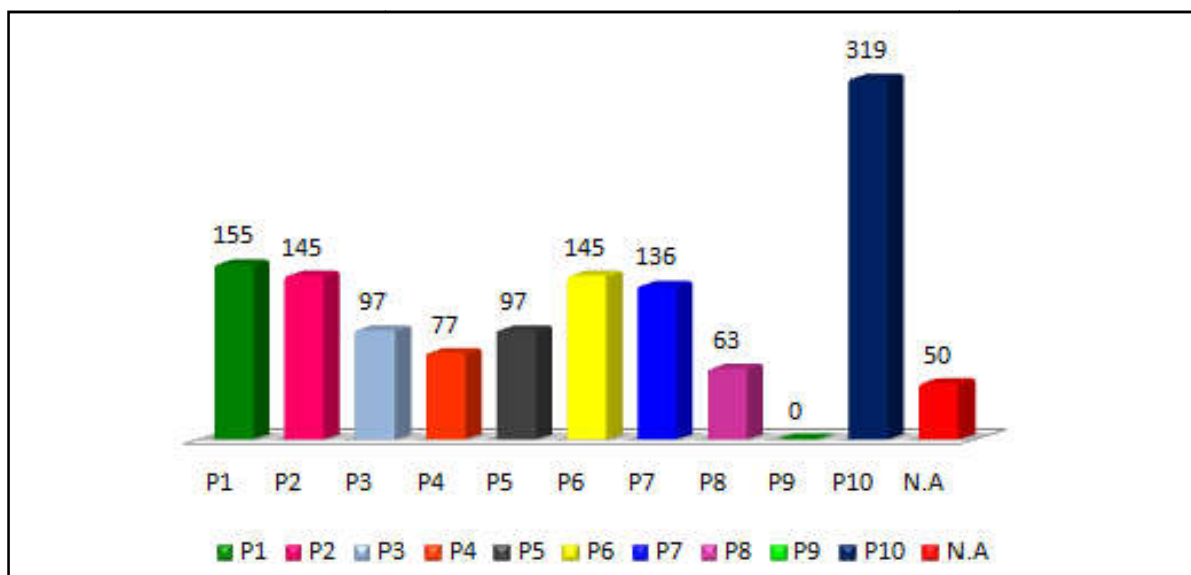


Figure (IV.9): La variation des teneurs en magnésium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4.7 Les teneurs en Calcium

Les teneurs en Calcium sont de l'ordre de 152 à 658 mg/l pour la région d'étude. Le Calcium est présent naturellement dans les eaux souterraines (Figure IV.10) et provient :

- De la dissolution du carbonate de calcium ;
- De l'altération des minéraux calciques ;
- Des rejets industriels (rejets de chaux).

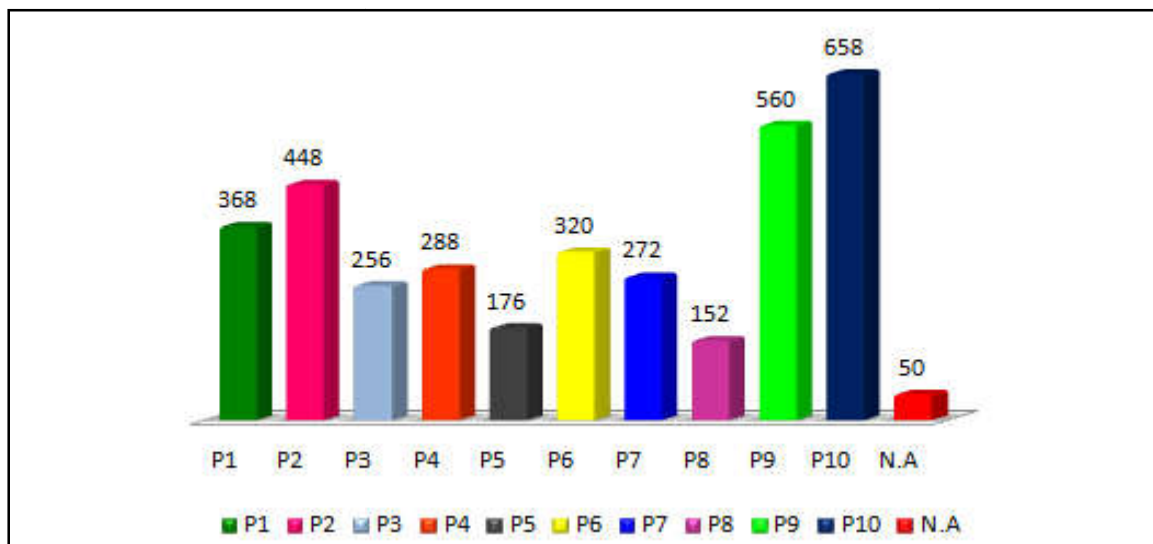


Figure (IV.10): Variation des teneurs en calcium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.4.8 Les teneurs en Potassium

Les teneurs en potassium, pour la plupart des échantillons sont faibles et inférieures à la valeur guide, elles varient de 1.3 à 17.2 mg/l.

Le Potassium est l'élément le moins répandu dans les eaux souterraines (Figure IV.11), car il est absorbé par le sol et les argiles, il provient :

- Du lessivage des engrais, des argiles et roches volcaniques ;
- En quantités élevée, des eaux usées d'origine industrielle.

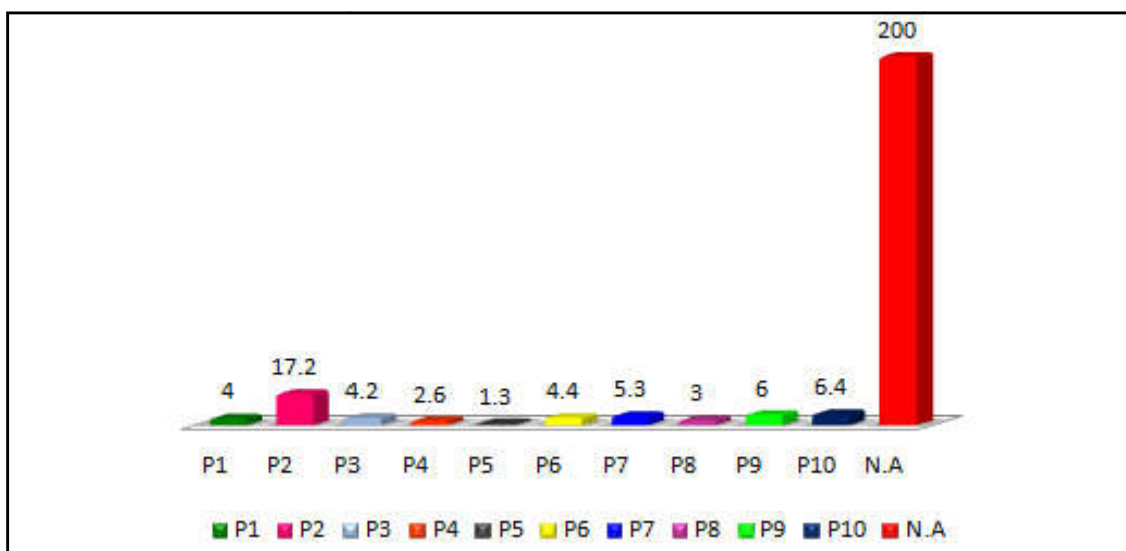


Figure (IV.11): Variation des teneurs en potassium dans l'eau dans les différents points de prélèvement et la norme algérienne.

IV.5 Classification des eaux selon Piper

La représentation des analyses des eaux de la zone d'étude sur le digramme de Piper (Figure IV.12) illustre trois groupes :

- Le premier à une tendance au regroupement vers le pole des Chlorures sodique et potassique, contenant les échantillons suivants : P1, P2, P3, P7, P9 et P10 ;
- Le deuxième converge vers le pole chlorure calcique et magnésien, ayant les trois échantillons : P4, P5 et P6 ;
- Le troisième contient un seul échantillon (P8), ce dernier reflète un faciès isolé (Bicarbonaté sodique et potassique).

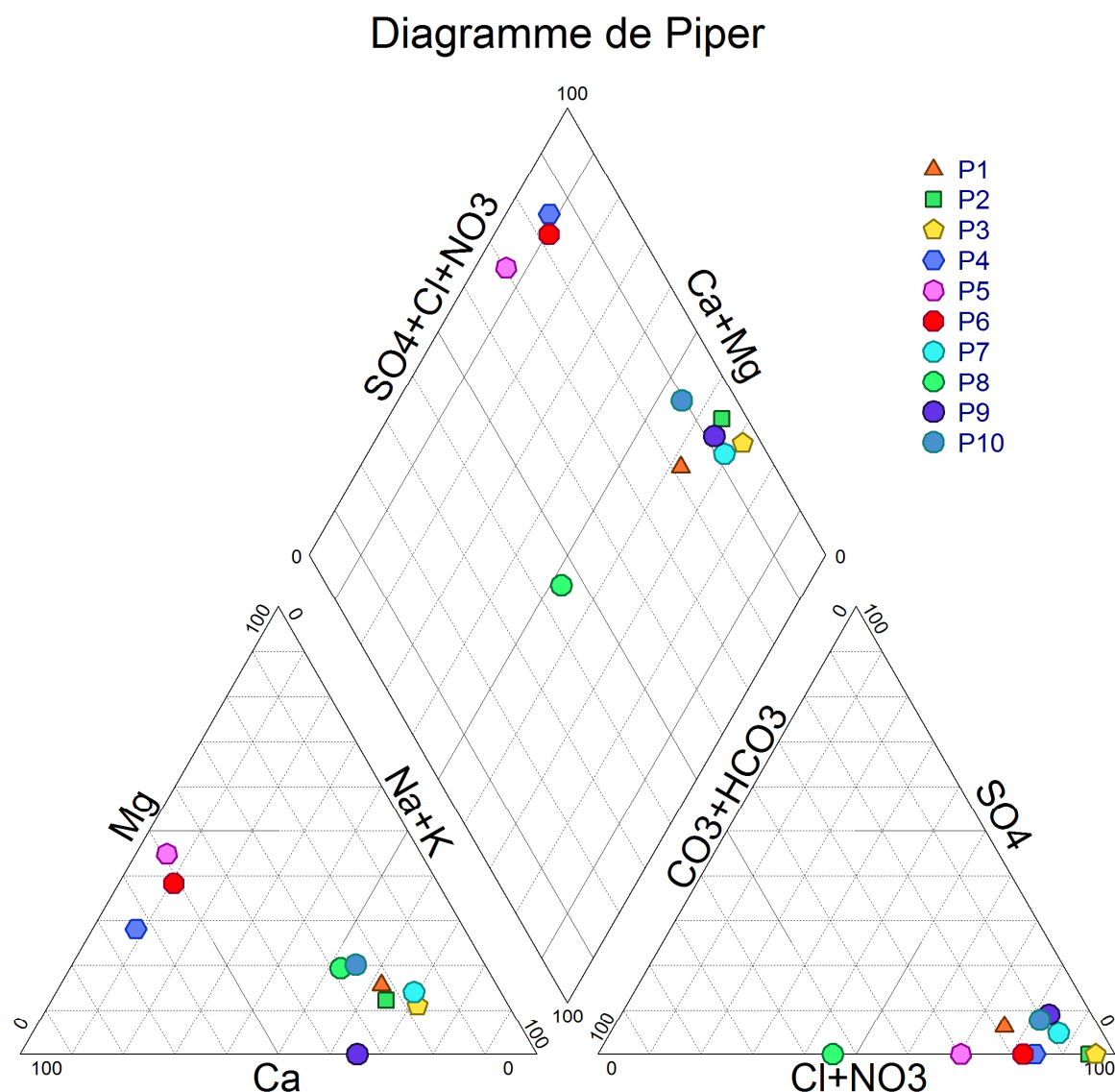


Figure (IV.12): Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la zone d'étude (Haute Soummam)

IV.6 Classification des eaux selon Schoëller-Berkaloff

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff est basé sur une présentation des concentrations des éléments chimiques avec une échelle logarithmique.

Après une analyse de la courbe de Schoëller-Berkaloff pour l'ensemble des échantillons (Figure IV.13), on constate que le faciès Chlorure Sodique est le plus dominant pour l'ensemble des eaux souterraines de la zone d'étude.

Cette forte dominance des chlorures et du sodium est due aux facteurs ci-dessous :

- Lessivages des formations triasiques (conditions géologiques régionales) ;

- Mise en place du barrage de Tichy Haf, et une possible influence directe sur l'alimentation des eaux souterraines de la région ;
- La présence de quelques formations argileuses dans les périmètres des points d'eau échantillonnés (conditions géologiques locales).

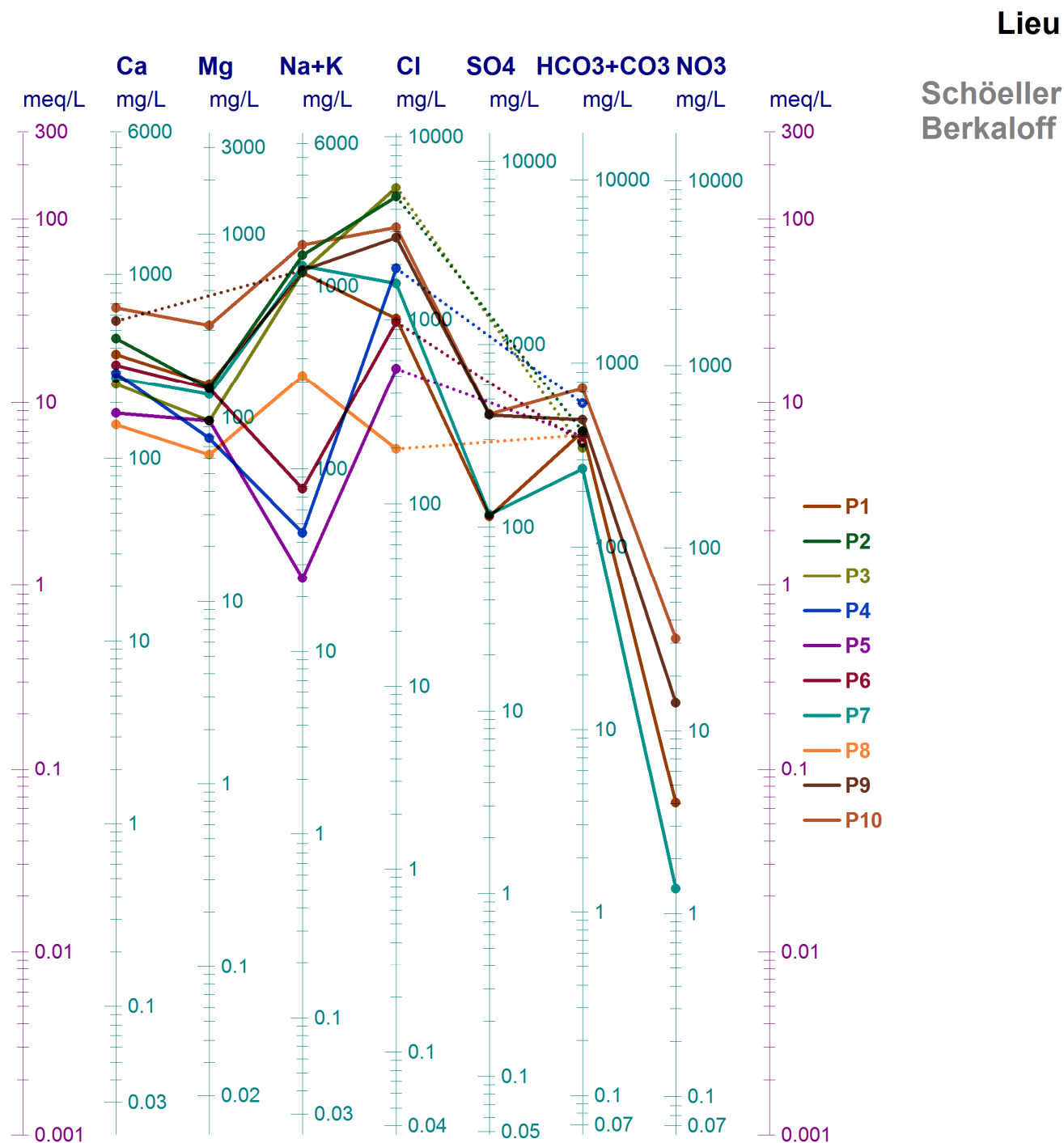


Figure (IV.13) : Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les eaux souterraines de la zone d'étude (Haute Soummam)

IV.7 Conclusion

Pour définir les faciès chimiques des eaux souterraines et suivre leurs évolutions dans l'espace et dans le temps, deux diagrammes (Schoëller-Berkaloff et Piper) ont été élaborés et serviront de base à l'interprétation générale des résultats.

Les résultats physico-chimiques obtenus, portés sur les diagrammes de Piper et Schoëller-Berkaloff, montrent que les eaux des sources analysées ont un faciès Chlorure Sodique qui est le plus dominant.

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff facilite ainsi la représentation de plusieurs échantillons d'eau à la fois.

La forte dominance des chlorures et du sodium est due à quelques facteurs tels que, la géologie de la région et la lithologie de la nappe.

Conclusion générale

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

D'après l'étude globale effectuée sur le sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL situé au Nord-Est du pays entre 3.4 et 5.8° de longitude et entre 35.6° et 37° de latitude. Les données de divers paramètres (morphométriques, hydro-climatologiques, hydrologiques, hydrodynamiques et hydro-chimiques), nous ont permis de valoriser les ressources en eaux de la zone d'étude et d'apprécier ses qualités physico-chimiques.

L'étude morphométrique a permis de caractériser la forme, les altitudes moyennes et les altitudes les plus fréquentes de notre bassin. La superficie et le périmètre stylisé, a permis de quantifier des paramètres tels que, le coefficient d'allongement, le coefficient de compacité,...etc.

L'analyse des débits moyens annuels a permis de remarquer une irrégularité interannuelle du régime d'écoulement et l'étude mensuel des débits présente deux périodes à savoir :

- Période de hautes eaux (Novembre - Avril jusqu'à Mai), le débit mensuel maximum est enregistré en Mars (11.174 m³/s) ;
- Période de basses eaux (Mai - Octobre), le débit mensuel minimum est enregistré en Octobre (1.285 m³/s).

Sur le plan hydro-climatologique, le climat de la région d'étude qui a été déterminé par différentes méthodes, varie de semi-aride à hyper-aride. Caractérisé par des précipitations irrégulières, la moyenne annuelle sur l'ensemble du bassin versant est de 357.55 mm pour la période de 1973 à 2007; et des températures élevées surtout pendant la période estivale pour la période (1993-2008), avec une moyenne de l'ordre de 15.7°C, et un maximum de 25,55 °C au mois de Juillet.

L'évapotranspiration réelle (ETR) calculée par les différentes méthodes (Turc, Thornthwaite, Wundt, Coutagne), donne des valeurs comparables sur la période de 16 ans (1993-2008), et une moyenne de 383.89 mm; quand à l'évapotranspiration potentielle (ETP), elle était estimée par deux méthodes (Thornthwaite et Serra) dont la moyenne est de l'ordre de 662.33 mm qui est largement supérieure aux précipitations, ce qui nous indique que presque la totalité des précipitations seront reprises par l'évapotranspiration.

L'étude hydro-chimique des eaux de la vallée de la haute Soummam, souterraines et superficielles, montre une variation importante de la minéralisation qui évolue en fonction de leur circulation. L'examen des données physico-chimiques montre que les valeurs de conductivités des eaux souterraines sont élevées à très élevées.

L'étude hydrochimique nous a permis d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux notons que le faciès dominant est le Chlorure sodique et potassique avec d'autres sous faciès : Chlorure Calcique et Magnésien et Bicarbonaté sodique et Potassique, selon la nature de l'encaissant et les formations traversées.

RECOMMANDATIONS

Dans la vallée de la haute Soummam, le manque de données continues dans le temps a rendu cette étude difficile, néanmoins nous avons essayé d'y apporter une approche au thème du sujet, mais il demeure cependant important d'apporter certaines recommandations :

Pour protéger cette ressource en eau contre son épuisement et la dégradation de sa qualité il est recommandé de :

- Etablir une surveillance des eaux souterraines qui repose sur l'évaluation des risques afin de fournir un aperçu global de l'état qualitatif et quantitatif des eaux souterraines. Il est impératif d'assurer cet objectif par des campagnes d'échantillonnages des eaux souterraines et par des campagnes piézométriques en périodes de hautes et de basses eaux, d'un certain nombre de points d'eau représentatifs, bien répartis sur l'ensemble de la région de la vallée de la Soummam ;
- Etablir un réseau de piézomètres à l'aval du barrage de Tichy-Haf pour comprendre et contrôler le comportement des eaux souterraines ainsi qu'à leur qualité chimique ;
- Afin d'estimer la part d'eau qui s'infiltre pour alimenter les eaux souterraines, il est nécessaire de mettre une station de mesures météorologiques (température et précipitations) dans la partie haute de la vallée de la Soummam.
- localiser la source des sels et réaliser une station de dessalement pour traiter les eaux salées avant leurs utilisations.

Références bibliographiques

*Références
bibliographiques*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ahmane, K., bouzarari, S.**, Etude de l'adduction de l'eau du barrage de Tichy-Haf dans le couloir Akbou-Bejaia. Projet de Fin d'Etude, Université de Bejaia, 2005.
- aissaoui, A.**, hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de l'Oued M'zi (Laghouat, Algérie). Thèse de Magister, Université d'Oran 2, 2016.
- bendahmane, I.**, Modélisation et simulation numérique de l'écoulement dans un milieu poreux. Thèse de Magister, Université de Bejaia, 2010.
- bouanani, A.**, Transport solide et modélisation: étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse doctorat d'état en Géologie appliquée, 2004.
- bouziane, M.T., labadi, A.**, Les Eaux Profondes de la Région de Biskra. European Journal of Scientific Research, Vol 25 No.4, 2009, ISSN 1450-216X.
- brais, I.**, Procédure d'échantillonnage de l'eau pour analyse en laboratoire, 2009.
- chaibi, M., khedoussi, F.**, Etude de la qualité des eaux du barrage Tichy Haf: Les algues bios indicatrices. Mémoire de Master, Université de Bejaia, 2012.
- coyne et bellier**, Rapport d'étude sur le bassin versant de l'oued Boussellam, 1996.
- djenba, S.**, Influence des paramètres : géologique, géomorphologique et hydrogéologique sur le comportement mécanique des sols de la wilaya de Setif. Thèse de Doctorat en Sciences, Université Mohamed Kheider – Biskra, Alger, 2015
- drouiche, A.**, impact de la remontée des eaux sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la vallée du souf sud-est algerien. Thèse de doctorat en géologie appliquée, Université d'Annaba, 2014.
- FEPS (Fondation de l'Eau Potable Sure)**, TDS et pH, 2014.
- girard, P., Hillaire M.C.**, Determining the source of nitrate pollution in the Niger discontinuous aquifers using the natural $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios. Journal of Hydrology, 199, 1997.
- mihoubi, N.**, Fonctionnement et gestion hydrogéologique et hydrologique des ressources en eau du bassin de Hammam Grouz. Thèse de Magister, Université de Constantine, 2008.
- rodier J.**, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires eaux de mers, 8ème édition, Editeur Dunod, 2005.
- samake H.**, Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de BAMAKO durant la période 2000 et 2001. Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Bamako, 2002.
- sari ahmed, A.**, L'hydrologie de surface. Editions distribution HOUMA, Alger, 2002.
- sogreah**, Modélisation des grands aquifères : plaine de la Soummam. Rapport V2, ANRH, 2010.
- Stewart, P.**, Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Bull. Soc. Hist. Natu., Afr. Nord, New York and London, T. 59, 1969.

Annexes

The word 'Annexes' is rendered in a large, dark blue, stylized serif font. The letters are thick and have a slightly irregular, hand-drawn quality. Below the main text, there is a faint, light blue shadow or reflection of the word, creating a sense of depth. The background is plain white.

Annexe (1) : Débits mensuels interannuels (m³/s) de 1981 à 1999 à la station de SIDI YAHIA.

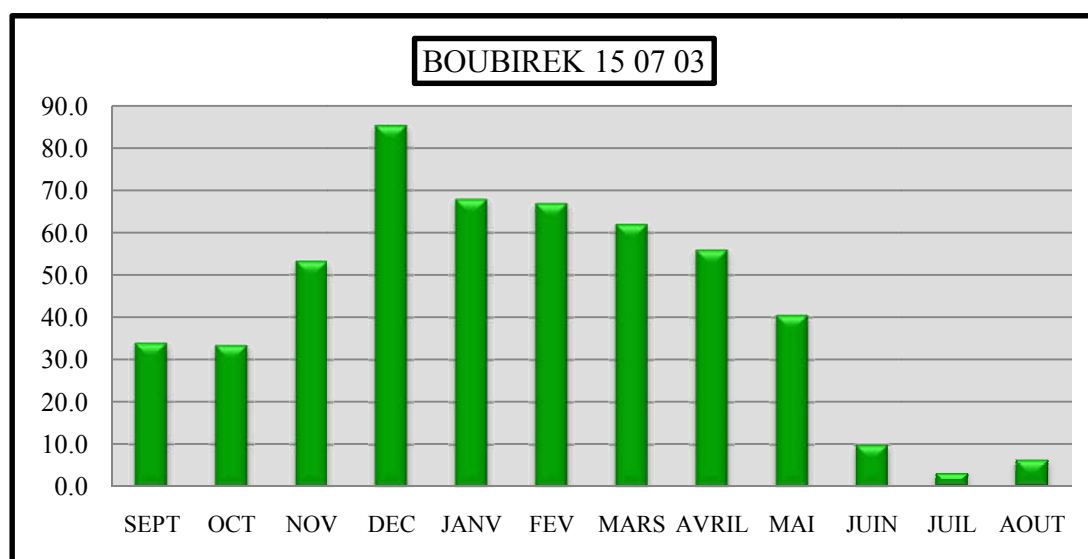
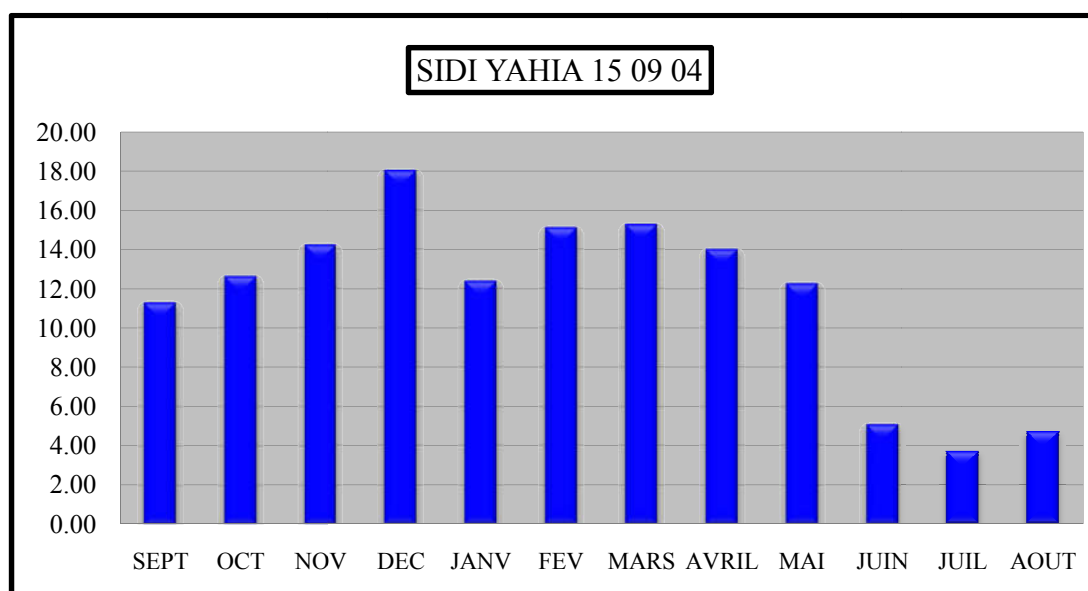
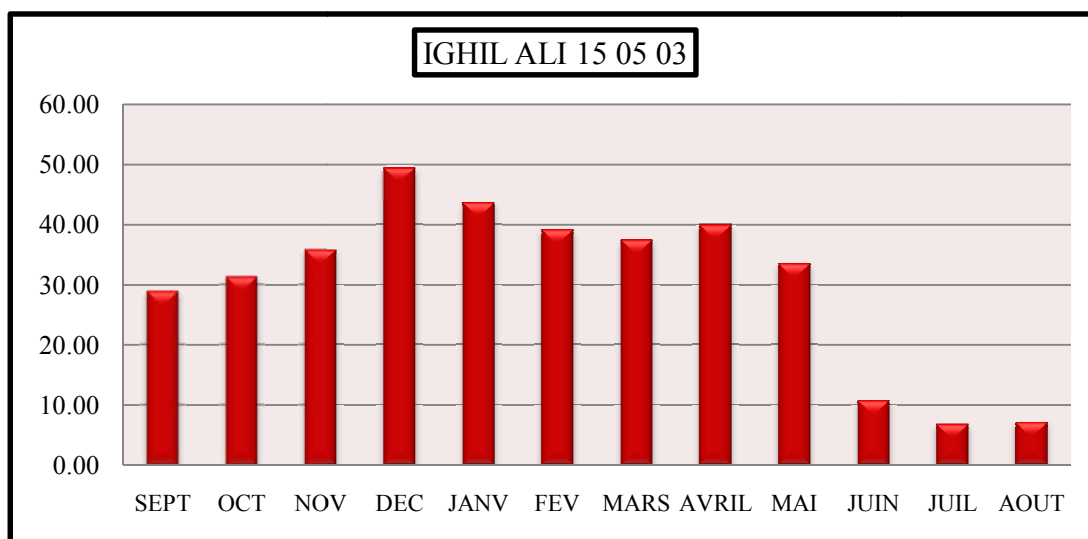
Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	moyenne annuelles
1981	2.46	0.61	0.54	3.57	18.68	37.08	19.20	13.33	10.84	5.21	0.88	0.62	9.42
1983	0.51	0.61	1.13	1.02	32.23	34.45	32.23	33.30	32.23	33.30	32.23	32.23	22.12
1984	0.64	2.25	1.12	9.65	31.36	17.26	50.84	17.19	7.02	2.57	0.93	0.30	11.76
1985	1.36	1.43	1.42	2.17	2.22	3.61	12.85	4.75	1.21	1.19	0.19	0.29	2.72
1986	2.48	2.79	3.34	16.38	20.97	31.63	19.26	13.35	4.74	1.50	1.43	0.33	9.85
1987	0.43	2.11	2.37	1.40	1.72	1.54	3.21	1.38	1.44	0.33	0.16	0.05	1.34
1988	0.62	0.98	1.77	13.87	6.11	5.64	4.72	5.71	2.29	0.99	0.31	0.31	3.61
1989	1.21	0.72	0.74	0.59	1.11	0.59	0.55	0.64	4.39	0.74	0.87	1.51	1.14
1990	0.75	0.21	2.72	5.62	1.86	5.63	6.20	3.88	1.64	2.11	0.42	0.22	2.61
1991	2.17	1.73	0.47	0.52	1.88	1.86	1.93	12.10	6.78	2.75	1.02	0.54	2.81
1992	0.72	0.75	1.22	7.66	16.06	6.26	9.37	4.21	4.23	1.89	0.97	0.68	4.50
1993	1.84	0.57	0.87	1.58	1.19	4.55	1.57	1.16	0.38	0.05	0.00	0.02	1.15
1994	4.20	3.49	0.41	0.86	22.00	9.31	15.54	5.75	2.81	3.30	1.54	1.33	5.88
1995	2.01	2.23	1.81	1.91	2.92	11.21	12.16	5.22	1.12	1.81	1.12	0.61	3.68
1996	1.03	0.89	0.92	1.44	1.66	1.41	1.03	1.06	0.59	0.53	0.08	0.28	0.91
1997	2.45	1.19	2.59	4.32	1.25	2.56	3.16	3.12	8.19	0.91	0.18	0.08	2.50
1998	3.82	0.41	2.11	3.18	7.51	15.17	6.16	1.60	0.46	0.18	0.03	0.04	3.39
1999	1.34	0.16	0.15	4.37	1.85	1.31	1.14	1.03	2.83	0.10	0.01	0.02	1.19

Annexe (2) : Variation interannuelle des précipitations aux différentes stations en (mm).

Années	SIDI YAHIA (15 09 04)	IGHIL ALI (15 05 03)	BOUBIREK (15 07 03)	Précipitations moyennes mensuelles
1973	87.4	429.1	668	394.83
1974	93.2	324.9	377.5	265.2
1975	477.4	482.5	665.1	541.67
1976	233.6	368.3	537.6	379.83
1977	250	318.1	395.4	321.17
1978	272.6	412.7	508	397.77
1979	314.5	438.5	465.8	406.27
1980	492.3	456.3	621.9	523.5
1981	443.3	468.1	543.2	484.87
1982	393.1	421.6	523.5	446.07
1983	321	318.5	600	413.17
1984	406.1	391	510.3	435.8
1985	325.8	269	411.9	335.57
1986	491.7	539.5	635.9	555.7
1987	327.1	345.3	376.6	349.67
1988	328.3	380.5	239.7	316.17
1989	343	374	394.6	370.53
1990	393.3	400.2	490.2	427.9
1991	418.1	444.5	516.2	459.6
1992	306.8	381	497.1	394.97
1993	270.7	295	351	305.57
1994	488.9	490.5	668	549.13
1995	391.7	202.7	617	403.8
1996	277.3	78.4	349.5	235.07
1997	483.6	74.6	694.6	417.6
1998	372.9	322.4	517.6	404.3
1999	226.4	315.4	384.1	308.63
2000	282.6	362.9	496.3	380.6
2001	205.2	271.1	256.4	244.23
2002	629.4	597.6	877.9	701.63
2003	580.6	522	746.1	616.23
2004	345.2	371.8	553.8	423.6
2005	368.7	463.2	399.7	410.53
2006	422.9	456.7	669.7	516.43
2007	449.4	374.4	600.6	474.8

Annexe (3) : Valeurs du coefficient pluviométrique

Années	SIDI YAHIA (15 09 04)	IGHIL ALI (15 05 03)	BOUBIREK (15 07 03)
1973	0.24	1.14	1.29
1974	0.26	0.86	0.73
1975	1.34	1.28	1.28
1976	0.65	0.98	1.04
1977	0.70	0.85	0.76
1978	0.76	1.10	0.98
1979	0.88	1.17	0.90
1980	1.38	1.21	1.20
1981	1.24	1.24	1.05
1982	1.10	1.12	1.01
1983	0.90	0.85	1.16
1984	1.14	1.04	0.98
1985	0.91	0.72	0.79
1986	1.38	1.43	1.23
1987	0.91	0.92	0.73
1988	0.92	1.01	0.46
1989	0.96	0.99	0.76
1990	1.10	1.06	0.94
1991	1.17	1.18	0.99
1992	0.86	1.01	0.96
1993	0.76	0.78	0.68
1994	1.37	1.30	1.29
1995	1.10	0.54	1.19
1996	0.78	0.21	0.67
1997	1.35	0.20	1.34
1998	1.04	0.86	1.00
1999	0.63	0.84	0.74
2000	0.79	0.96	0.96
2001	0.57	0.72	0.49
2002	1.76	1.59	1.69
2003	1.62	1.39	1.44
2004	0.97	0.99	1.07
2005	1.03	1.23	0.77
2006	1.18	1.21	1.29
2007	1.26	1.00	1.16

Annexe (4): Variations mensuelles des précipitations à chaque station.

Annexe (5): Résultats des analyses effectuées sur les 24 premiers échantillons

N° de l'échantillon	Nom de l'échantillon	Altitude (m)	PH	température (°C)	mv	TDS (g/l)	salinité (g/l)	conductivité (μ.s/cm)
1	Rabhi Md Tayeb	70	7.48	24.1	-40	0.62	0.5	1170
2	Rabhi A.Errahmane	32	7.4	23.5	-31	0.97	0.9	1850
3	Bourehla Aissa	25	7.49	22.8	-38	2.02	1.9	3750
4	Belaïd Hicham	50	7.12	23	-16	3.71	5.5	10400
5	Bourehla Madjid	15	7.32	23.6	-28	2.02	1.9	3860
6	Ait Bessai Hachimi	25	7.32	23.5	-28	1.1	1	2070
7	Akkouche Kamel	70	7.28	23	-26	0.96	0.9	1800
8	Sekhiou Madjid	30	7.77	23.6	-55	1.03	0.9	1950
9	Bourehla Moussa	15	7.07	23.5	-14	3.2	2.4	5900
10	Sekhiou Azeddine	42	7.4	24.1	-31	0.99	0.7	1460
11	Amirouche Rafik	72	7.53	23.8	-43	0.77	0.7	1450
12	Djamel	50	7.69	23.9	-50	0.53	0.4	870
13	Sekhiou Mhand	/	6.99	23.9	-9	2.1	1.9	3980
14	Ziri Arezki	71	7.36	24	-31	0.77	0.7	1440
15	Amirouche Tahar	41	7.28	23.9	-28	0.87	0.8	1660
16	Amirouche Said	25	7.2	24	-18	1.18	1.1	2190
17	point 1.R (1er fois)	/	7.36	23.7	-33	4.53	9.4	16600
18	Nacer (1er fois)	/	7.32	23.7	-28	1.66	1.5	3130
19	Rabhi Lekhdher	14	7.2	23.8	-24	1.82	1.7	3360
20	Mhana Ben	15	7.03	23.6	-12	2.3	2.1	5200
21	Brahim Bejou	14	6.98	23.6	-7	2.7	2.1	4180
22	Mourad	17	7.32	23.7	-28	2.46	2.3	5700
23(p2t3)	/	/	6.95	24.4	-7	8.5	8.6	8240
24(p2t1)	/	/	6.54	24.1	14	1.73	1.6	3250
25(p2t8)	/	/	6.99	23.9	-9	3.1	2.3	4590
26 (p3t10)	/	/	7.2	23.9	-20	2.46	2.3	5700

Annexe (6): Résultats des analyses effectuées sur les autres échantillons

Paramètres	Unité	P1 (Rabhi Mourad)	P2 (Oued Bousellam)	P3 (Rabhi Mohamed)	P4 (Ait Bessai)	P5 (Amirouche Smail)
Couleur	mg/l Echelle Pt	***	***	***	***	***
PH	/	7.107	7.742	7.345	7.485	7.22
Conductivité électrique (CE)	MS/cm	2210	6600	4760	2100	1792
Turbidité (Trd)	NTU	1.53	0.408	0.69	1.86	0.992
Température (T)	°C	16.1	16.6	16.2	15.9	16.4
Nitrites (NO ₂ -)	mg/l	0.006	0.313	0.003	0.004	0.003
Nitrates (NO ₃ -)	mg/l	4.06	***	***	***	***
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	368	448	256	288	176
Magnésium (Mg ⁺⁺)	mg/l	155	145	97	77	97
Dureté totale (TH)	mg/l CaCO ₃	1560	1720	1040	1040	840
Sodium (Na ⁺)	mg/l	1170	1440	1190	42	24
Potassium (K ⁺)	mg/l	4	17.2	4.2	2.6	1.3
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	1022	4702	5248	1913	547
Sulfates (SO ₄ 2-)	mg/l	114	***	***	***	***
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l	350	350	284	496	328
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg/l	427	427	346	605	400
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	mg/l	***	***	***	***	***
Total des solides dissous (TDS)	mg/l	0.97	***	***	1.1	***
Salinité (S)	%	0.9	***	***	1	***
Résidu sec	mg/l	***	***	***	***	***
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	***	***	***	***	***
Matières Organiques	mg/l	***	***	***	***	***
Fer total (Fe)	mg/l	***	***	***	***	***
Fluorures (F ⁻)	mg/l	***	***	***	***	***
Bromures (Br ⁻)	mg/l	***	***	***	***	***
Iodures (I ⁻)	mg/l	***	***	***	***	***

N.B.: *** = Absence du résultat

*Annexe (6): Résultats des analyses effectuées sur les autres échantillons
(suite et fin)*

Paramètres	Unité	P6 (Sekherrou)	P7 (Bedjou Brahim)	P8 (Ouakli Salah)	P9 Bendahmane	P10 Bedjou	N.A
Couleur	mg/l Echelle Pt	***	***	***	4	4	15
PH	/	7.007	7.018	7.478	7.09	7.16	8
Conductivité électrique (CE)	MS/cm	5370	7130	859	9030	10480	2800
Turbidité (Trd)	NTU	1.69	1	0.913	0.9	0.48	5
Température (T)	°C	16.6	16.5	15.3	25	25	25
Nitrites (NO ₂ -)	mg/l	0.003	0.004	0.003	0	0	0.2
Nitrates (NO ₃ -)	mg/l	***	1.36	***	14.3	31.7	400
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	320	272	152	560	658	50
Magnésium (Mg ⁺⁺)	mg/l	145	136	63	0	319	50
Dureté totale (TH)	mg/l CaCO ₃	1400	1240	640	1440	3000	500
Sodium (Na ⁺)	mg/l	74	1270	320	1200	1650	500
Potassium (K ⁺)	mg/l	4.4	5.3	3	6	6.4	200
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	984	1585	197	2800	3220	200
Sulfates (SO ₄ 2-)	mg/l	***	118	***	409	417	0.2
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l	300	218	334	400	600	/
Bicarbonates (HCO ₃ -)	mg/l	366	266	407	488	732	500
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	mg/l	***	***	***	0	0	/
Total des solides dissous (TDS)	mg/l	***	2.7	***	4890	5790	/
Salinité (S)	%	***	2.1	***	5.05	6	/
Résidu sec	mg/l	***	***	***	626	8152	/
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	***	***	***	0.08	0.08	0.5
Matières Organiques	mg/l	***	***	***	0.6	3	5
Fer total (Fe)	mg/l	***	***	***	0.05	0.02	0.3
Fluorures (F ⁻)	mg/l	***	***	***	0.1	0.108	1.2
Bromures (Br ⁻)	mg/l	***	***	***	8.63	9.79	/
Iodures (I ⁻)	mg/l	***	***	***	0.009	0.011	/

N.B : *** = Absence du résultat

ملخص :

تتعلق هذه الدراسة بالكيمياء المائية لمستجمعات المياه في وادي بوسلام أفال ، الواقعة في الجنوب الشرقي من ولاية بجاية. ويغطي مساحة حوالي 365.3 كيلومتر مربع. استرشد اختيار موضوع البحث هذا بالرغبة في فهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية بشكل أفضل ودراسة تطورها. تم إجراء التحليل الهيدروكيميائي على عدة عينات مأخوذة من مكان الدراسة واد بوسلام (آبار ، مجرى مائي) تتعلق هذه التحليلات بتركيزات العناصر الرئيسية وبعض العناصر الملوثة مثل الفوسفات والحديد. كشف تفسير هذه البيانات عن هيمنة وجهتين كيميائيتين ، هما سَكَّانات الكالسيوم ثنائية الكربونات وسَكَّات الكالسيوم الكلورية. كما أكد التوزيع المكاني للعناصر الكيميائية حيث أن أصل هذه الوجوه يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالطبيعة الليثية لطبقة المياه الجوفية. **المفتاحية الكلمات:** الكمياء المائية، واد بوسلام، الوجه، التلوث، الهيدروكيماتولوجيا.

Agzul :

Tazwart agi tuwi-d yef tmeswi takrurant n ugelmim n WASIF BOUSSELLAM AVAL, i d-yezgan deg unzul asammar n ugezdu n Bgayet, Lezzayer. Tajumma-s, tesæa akken azal n 365.3 Km². Nefren asentel-agi n unadi, i wakken ad negzu ugar tiskanin tiyaranin tikimayin, akken dayen ad nezrew timeskelt-is. Tasleðt timeswi takrurant tella-d yef tukkisin i d-nuwi deg ugelmim n WASIF BOUSSELLAM AVAL, s-umata (Anuten, iyezran). Tislað enant isentuten n yiferdisen igejdanen d kra n yiferdisen yumsen, am ufusfat d wuzzal. Asegzi n tnefkin-agi, yesfaw-aɣ-d aɣmar n sin n wudmawen ikimayen : udem abikarbun ulus, udem afusfat ulus ; rnu beṭtu allunan n yiferdisen ikimayin issentem-d bellik aẓar n wudmawen-agi yeqqen tuqqna n tidet yer tumest n ulemdid yellan d azru.

Awalen igejdanen : Timeswi takrurant, timeswi-tusnagnawt, ASIF BUSELLAM AVAL, udmawen, ammus.

Résumé :

La présente étude porte sur l'hydrochimie du bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL, situé au Sud-Est de la wilaya de BEJAIA, Alger. Il couvre une superficie d'environ 365.3 Km². Le choix de ce thème de recherche a été guidé par le souci de mieux comprendre les caractéristiques physico-chimiques et d'étudier leurs évolutions. L'analyse hydrochimique a été réalisée sur des échantillons prélevés sur l'ensemble du sous bassin versant d'OUED BOUSSELLAM AVAL (Puits, cours d'eau). Ces analyses ont concerné les concentrations en éléments majeurs et quelques éléments polluants, tels que le phosphate et le fer. L'interprétation de ces données a révélé la dominance de deux faciès chimiques, à savoir , le faciès Bicarbonaté Calcique et le faciès Sulfaté Calcique ; ainsi que la répartition spatiale des éléments chimiques qui a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe.

Mots clés : Hydrochimie, hdro-climatologie, OUED BOUSSELLAM AVAL, faciès, pollution.

Abstract:

The present study concerns the hydrochemistry of the watershed of downstream BOUSSELLAM wadi, located in the south-east of the wilaya of BEJAIA, Algeria. It covers an area of approximately 365.3 Km². The choice of this research theme was guided by the desire to better understand the physicochemical characteristics and to study their evolution. The hydrochemical analysis was performed on samples taken from the entire subwatershed of downstream BOUSSELLAM wadi (wells, stream). These analyzes concerned the concentrations of major elements and some polluting elements such as phosphate and iron. The interpretation of these data revealed that the dominance of two chemical facies, namely, the Bicarbonated Calcium facies and the Sulfated Calcium facies; and also the spatial distribution of chemical elements wich confirmed that the origin of these facies is strongly related to the lithological nature of the aquifer.

Key words: Hydrochemistry, hydro-climatology, downstream BOUSSELLAM wadi, facies, pollution.